# 6 ELETRÔNICA RÁDIO E TV

SUMÁRIO

**6ª LIÇÃO TEÓRICA**

**VÁLVULAS ELETRÔNICAS E TRANSISTORES**



**6ª LIÇÃO PRÁTICA**

VÁLVULAS ELETRÔNICAS E TRANSISTORES



**6ª LIÇÃO ESPECIAL**

CÁLCULOS DE INDUTÂNCIAS (2º PARTE) E TECNOLOGIA DOS TRANSISTORES (1º PARTE)




INSTITUTO UNIVERSAL BRASILEIRO

# CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
# 6ª LIÇÃO TEÓRICA
## VÁLVULAS ELETRÔNICAS e TRANSISTORES

### I - Introdução

Nesta lição, vamos mostrar ao aluno um componente que até algumas décadas atrás era de vital importância nos circuitos eletrônicos: a válvula eletrônica. Ela era muito utilizada nos aparelhos antigos, ou seja, até a década de 70, e como é possível ainda encontrar-se alguns aparelhos empregando esse tipo de componente, mesmo em aparelhos de TV a cores antigos, e também face à sua representatividade para os primórdios da eletrônica, vale a pena que nossos alunos tenham algumas noções básicas sobre a válvula eletrônica, pois a mesma ainda é empregada em circuitos de transmissores profissionais, que possuem grandes potências. Além disto, devemos informar ao aluno que o cinescópio (também chamado de tubo de imagem), como teremos oportunidade de verificar, não é nada além de uma válvula, a qual ainda está longe de ser suprimida dos aparelhos de TV.

### II- Invenção da válvula - Efeito Edison

O cientista norte-americano Thomas Alva Edison inventou a conhecida lâmpada de incandescência. Quando fazia experiência com seu invento, colocou dentro do bulbo de vidro da lâmpada, uma placa metálica, sem fazer contato com o filamento. Edison ligou o filamento da lâmpada à uma fonte de energia, da maneira usual, de modo que o filamento da lâmpada ficou incandescente. Por outro lado, ligou também a placa metálica ao pólo positivo de uma bateria, em série com um medidor de corrente, como ilustramos na **figura 1.**

Edison observou que o miliamperímetro indicava a passagem de corrente, entre o filamento e a placa. Como não havia ligação elétrica entre a placa e o filamento, Edison deduziu que o circuito só podia ser fechado através do espaço vazio entre filamento e placa, como indicamos pelas flechas em nossa figura, observando o sentido convencional da corrente, que é do positivo para o negativo.

Edison observou, também, que,
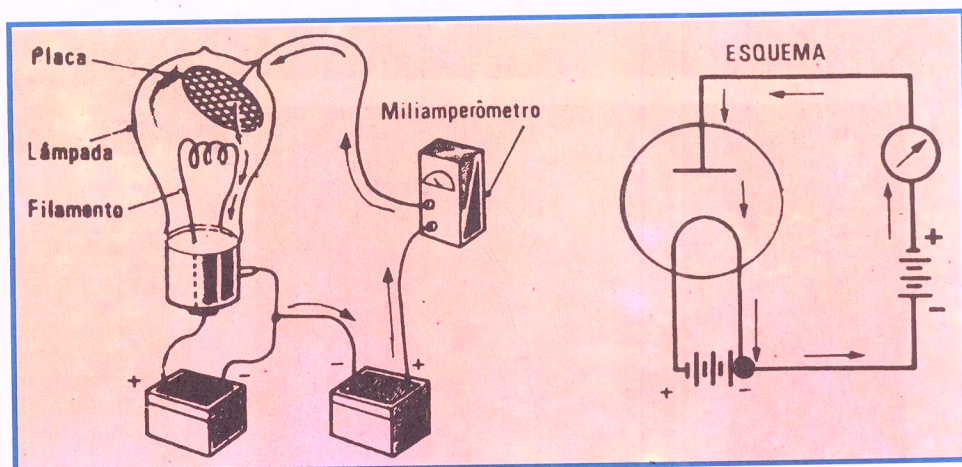
Figura 1 - Experimento de Edison.

quando a polaridade da bateria ligada à placa era invertida, cessava a passagem de corrente.

A esse fenômeno foi dado o nome de "efeito Edison", sem explicação durante muito tempo, até que cientistas ingleses e alemães resolveram utilizá-lo, para detetar os sinais de transmissores telegráficos que estavam em desenvolvimento.

### III - Emissão eletrônica

A explicação do "efeito Edison" é a seguinte:

Os elétrons, que são as cargas elétricas, encontram-se em constante movimento em volta de seu núcleo, descrevendo as suas órbitas. Quando o corpo material é aquecido, o mesmo se dilata e os elétrons adquirem energia, libertando-se de suas órbitas e formando uma "nuvem de elétrons", da mesma maneira que as partículas de água formam o vapor, quando a água ferve. Assim, quando o filamento da lâmpada entra em incandescência, isto é, fica em brasa, em volta dele aparece a nuvem de elétrons. Convém notar que isso só acontecerá se, dentro da lâmpada, for feito o "vácuo", ou seja, se for retirado o ar de seu interior, pois o ar, sendo também formado por átomos, não deixaria espaço suficiente para o movimento dos elétrons.

Pois bem, admitindo que exista vácuo no interior da lâmpada, os elétrons libertados pelo calor são atraídos pela placa metálica, que está com potencial positivo. Esses elétrons voltam ao
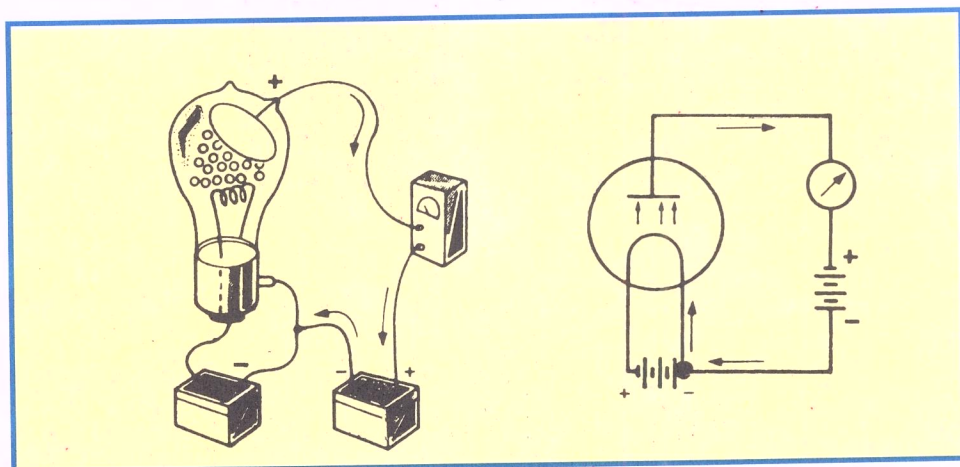
Figura 2 - Explicação do Efeito Edison.

filamento, através do pólo negativo da bateria e, assim, se forma a corrente eletrônica, que o instrumento registra. Na **figura 2,** ilustramos o que se afirma , simbolizando os elétrons por bolinhas.

O aluno observa que a corrente eletrônica tem sentido contrário ao convencional, isto é, ela se dá do filamento para a placa (sentido real).

A bateria age como uma bomba, que fornece a pressão necessária para que os elétrons possam circular.

Convém notar que a corrente eletrônica é exatamente igual a corrente elétrica, através dos condutores metálicos, pois, em ambos os casos, trata-se do movimento de elétrons, do pólo negativo para o positivo (sentido real) da bateria.

Quando se inverte a polaridade da placa, isto é, ligando-se a ela o pólo negativo da bateria, observa-se que a corrente eletrônica pára, porque a placa, ficando negativa, repele os elétrons.

A este processo de emissão eletrônica, em que os elétrons são acelerados pelo aquecimento, também se dá o nome de **emissão termoiônica.**

## IV - Diodo e válvula

A um dispositivo como a lâmpada de Edison, acrescida da placa receptora de elétrons, dá-se o nome de **diodo**, isto porque ele possui dois elétrodos, que são o filamento e a placa.

O diodo termoiônico costuma ser chamado de válvula, embora não o seja. De fato, em mecânica dos fluidos, chama-se de válvula o dispositivo que controla a passagem de fluido (como água ou gás, por exemplo), entre dois recipientes vizinhos. Uma torneira é, portanto, uma válvula. porque permite controlar o fluxo da água. Por analogia, chama-se de válvula o dispositivo eletrônico que permite controlar a passagem da corrente elétrica. Esses dispositivos são o tríodo, tétrodo, etc., que estudaremos mais adiante.

O diodo permite a passagem de corrente apenas em um sentido, mas não tem qualquer elétrodo para modificar o valor da corrente; conseqüentemente, ele não é uma válvula. Entretanto, pela semelhança física entre o diodo termoiônico e a válvula, costuma-se considerá-lo como tal.

A descoberta do diodo teve imediatamente grande aplicação prática, pois, não permitindo passagem de corrente, quando a placa fica negativada, foi daí em diante usado como **retificador**, isto é, como dispositivo capaz de eliminar um dos semiciclos de uma corrente alternada.

A placa de uma válvula também costuma ser chamada de **ânodo**.

## V - Aquecimento direto e indireto

### a) Aquecimento direto

Vimos, linhas atrás, que a emissão dos elétrons é feita por um corpo aquecido, que, no caso do diodo de Edison, é o próprio filamento da lâmpada. O aquecimento é produzido pela corrente elétrica, fornecida pela bateria que alimenta o filamento.

As válvulas que têm o filamento como emissor de elétrons são denominadas de **válvulas de aquecimento direto**.

O filamento emissor é chamado de **filamento cátodo**.

Os materiais normalmente utilizados na construção do filamento-cátodo são os metais, principalmente o tungstênio, o tungstênio recoberto com uma camada de tório (tungstênio toriado)
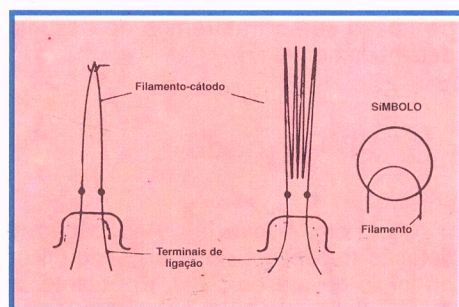
Figura 3 - Filamento-cátodo.

e outros. A finalidade do revestimento de tório é permitir que os elétrons sejam libertados a uma temperatura menor do que se fosse utilizado o tungstênio puro.

Na **figura 3** apresentamos o filamento-cátodo em seu aspecto real e seu símbolo.

### b) Aquecimento indireto

Nas válvulas de aquecimento indireto, o filamento não é mais o emissor de elétrons, mas serve simplesmente para aquecer o elétrodo que exerce essa
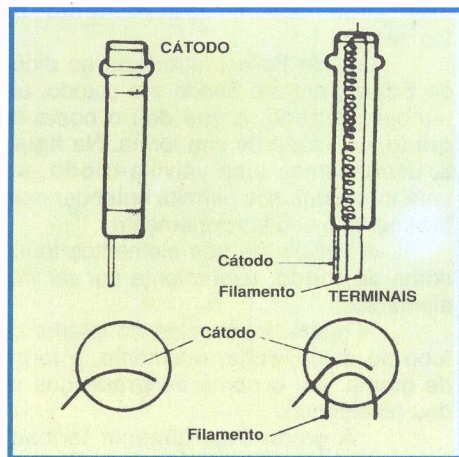
Figura 4 - Cátodo.

função. Tal eletrodo recebe o nome de **cátodo**.

O cátodo, usualmente, tem a forma de um tubinho metálico recoberto com tório ou outros metais emissores. Na **figura 4,** mostramos o desenho de um cátodo. No seu interior aloja-se o filamento, cuja finalidade é aquecer o cátodo.

A válvula de aquecimento indireto tem algumas vantagens sobre as de aquecimento direto. Podemos citar, por exemplo, a de admitir que o filamento seja alimentado pela corrente alternada da rede, sem o problema do zumbido, que apareceria no caso do filamento-cátodo.

## VI - O Diodo

O diodo consta de uma placa (ânodo), um cátodo e um filamento ou, então, um ânodo e um filamento-cátodo. Na **figura 5**, mostramos esses dois tipos.
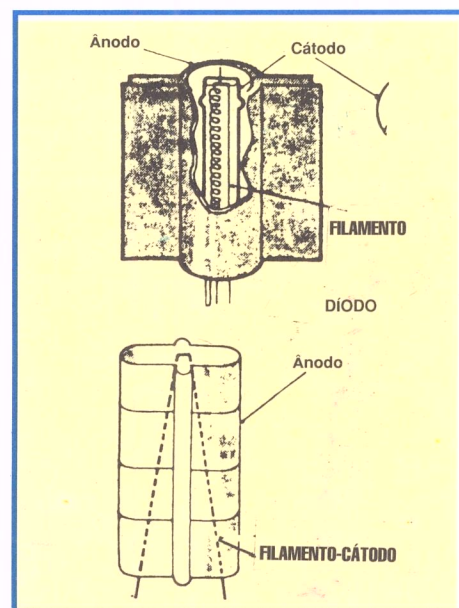
Figura 5 - Diodos.

O aluno observa que o ânodo tem a forma tubular, e envolve o cátodo ou filamento-cátodo. Muitas vezes, o tubo tem aletas, para melhor dissipação do calor, como se observa em nossa figura.

O conjunto dos elétrodos da válvula é introduzido em um recipiente de metal ou de vidro, geralmente este último, onde é feito o vácuo.

É necessário retirar o ar de dentro da válvula por dois motivos: o primeiro deles é o já citado no início desta lição, isto é, os átomos do ar recolhem os elétrons emitidos pelo cátodo, evitando que atinjam o ânodo; a segunda é que o oxigênio do ar ativaria o processo de desgaste do filamento esgotando-o em pouco tempo. Esse fenômeno é chamado de oxidação. O aluno provavelmente já o observou, se ligou uma lâmpada com o bulbo rachado: a lâmpada acende-se com maior intensidade luminosa e,
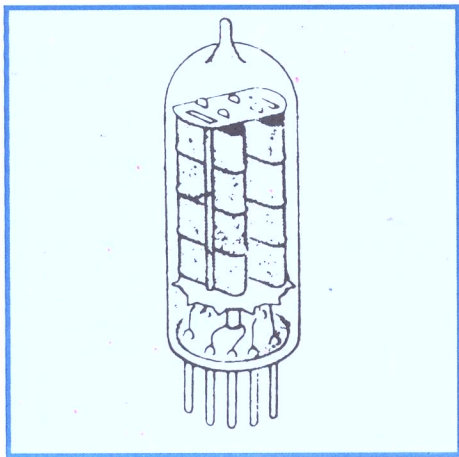
Figura 6 - Duplo-diodo.

imediatamente, se queima.

Na **figura 6,** mostramos o aspecto real de uma válvula duplo-diodo.

Os elétrodos da válvula têm acesso ao exterior do tubo, através de pinos de ligação, colocados na base da válvula.

O princípio de funcionamento da válvula diodo é aquele que descrevemos para a explicação do efeito Edison.
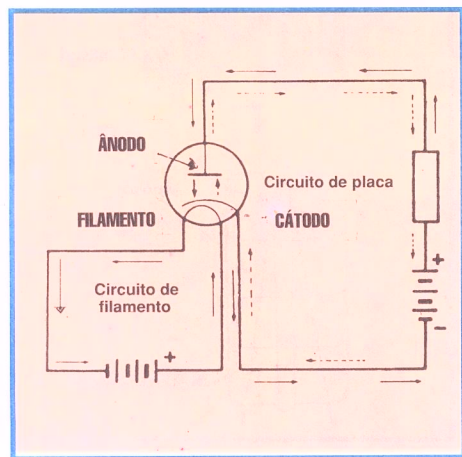
Figura 7- Diodo de aquecimento indireto.

Repeti-lo-emos aqui, por ser fundamental em todas as válvulas. Assim, na figura 7 desenhamos o esquema de um diodo de aquecimento indireto. O aluno nota que entre o cátodo e o ânodo intercalamos uma bateria e um resistor. O circuito é fechado através do espaço ânodo-cátodo, no interior da válvula. Tal circuito é chamado de **circuito de placa**. O resistor é chamado de **resistor de carga** e é representado por $R_L$.

Entre os filamentos, há uma bateria, cuja função, como vimos, é fornecer a corrente que aquecerá o filamento e, conseqüentemente, o cátado. O circuto é chamado de **circuito de filamento**.

Pois bem, estando ligados o circuito de filamento e o de placa, com o pólo positivo da bateria do circuito de placa ligado ao ânodo, este elétrodo atrai os elétrons emitidos pelo cátodo e forma a **corrente de placa**.

Se a polaridade da bateria, que alimenta o circuito de placa, for invertida, ou seja, se o pólo negativo for ligado ao ânodo, não aparecerá mais a corrente de placa, porque este elétrodo, ficando com mesma polaridade que os elétrons, repele-os.

O aluno deve notar que a polaridade da bateria de alimentação do filamento não tem qualquer ação sobre a corrente de placa, porque sua função é, exclusivamente, aquecer o cátodo, para que ele libere elétrons com mais facilidade.

Note em nossa figura que, no circuito de placa, representamos o sentido real da corrente por setas tracejadas e o sentido convencional, por setas cheias.

A função principal que uma válvula-diodo executa, nos circuitos eletrônicos, é a retificação, bastante empregada em amplificadores, receptores de rádio, televisores, etc. Em outra lição de nosso curso trataremos do assunto, detalhadamente.

## VII - O tríodo

O diodo teve larga aplicação na deteção (recepção) de sinais telegráficos, no início da era do rádio. Entretanto, no início deste século, o pesquisador americano Lee de Forest, acidentalmente, descobriu o **tríodo**, que foi o mais sensacional invento, no campo da eletrônica, até o aparecimento do transistor.
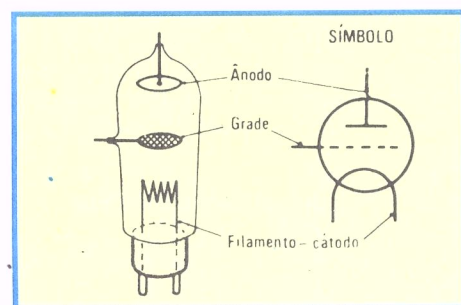
Figura 8 - Válvula tríodo.

Lee de Forest introduziu no diodo de Edison, entre o ânodo e o cátodo, um terceiro elétrodo, a que deu o nome de **grade**, em razão de sua forma. Na **figura 8,** desenhamos uma válvula-**tríodo**, em uma forma que nos permita entender mais facilmente o seu funcionamento.

A válvula de três elementos tem o nome de **tríodo**, exatamente por ter três elementos.

A grade, introduzida no interior do tubo do diodo, tinha, realmente, a forma de grelha, daí o nome de **grade** que se deu ao elétrodo.

A grade é geralmente formada por um fio metálico de forma espiralada, envolvendo o cátodo ou filamento-cátodo.
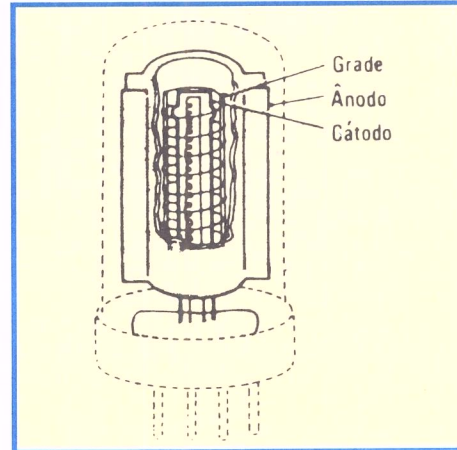
Figura 9 - Válvula-tríodo.

Na **figura 9** mostramos o desenho dos eletrodos de uma válvula-tríodo, onde se podem distinguir o cátodo, o ânodo e a grade.

## VIII - Funcionamento do tríodo

Suponhamos que, inicialmente, a grade não tenha nenhuma ligação externa, como mostramos na **figura 10**. Então, tudo acontece como já explicamos: a placa, sendo positivada, atrai os elétrons emitidos pelo filamento-cátodo, que atravessam a grade, como se ela não existisse, e fecha o circuito de placa, como sabemos. Admitamos, agora, que a
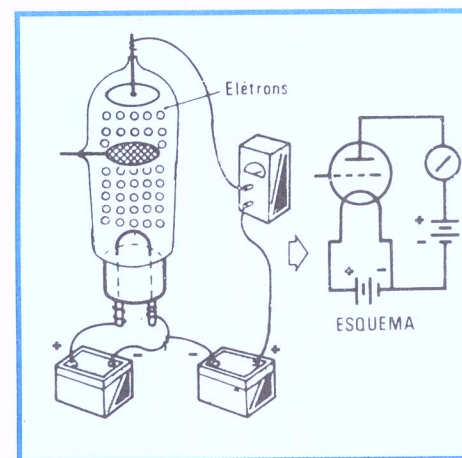
Figura 10 - Grade sem ligação.

grade seja ligada, externamente, ao pólo positivo de uma bateria, como mostramos na **figura 11**, em série com um instrumento de medida de corrente. Com este tipo de ligação, observaremos que a corrente de placa aumenta em relação àquela observada com a experiência da figura 10. Além disso, no circuito de grade, passará também uma pequena corrente. A explicação do fenômeno é simples. Realmente, estando a grade positivada, ela funciona como uma placa,
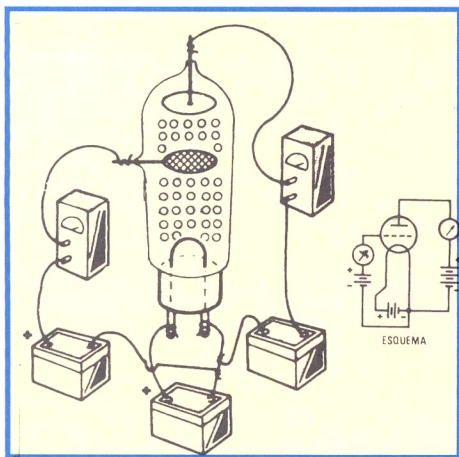
Figura 11 - Grade positiva.
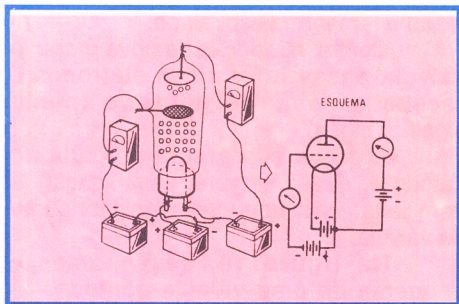
Figura 12 - Grade negativa.

pois atrai os elétrons que são emitidos pelo cátodo. Além disso, como a extração de elétrons agora é mais eficiente, maior número deles alcançará a placa e, em conseqüência, a corrente de ânodo aumentará.

Passemos, agora, ao circuito da **figura 12,** onde a polaridade da bateria de grade foi invertida em relação à figura 11, ou seja, a grade tem polaridade negativa. O que se observa, agora, é que a corrente de placa diminuiu e, dependendo do valor da tensão negativa da grade, ela poderá até anular-se.

A explicação é a seguinte: estando a grade com potencial negativo, ela tem excesso de elétrons. Conseqüentemente, os elétrons emitidos pelo filamento-cátodo (ou cátodo) são repelidos pelos elétrons da grade. Somente, aqueles que têm energia suficiente para atravessar a grade é que atingem a placa e formam a corrente de ânodo. Quando a grade repele todos os elétrons emitidos pelo cátodo, cessa a corrente de placa.

Variando-se, então, a tensão da grade, varia-se, ao mesmo tempo, a intensidade de corrente do circuito de placa. Isto quer dizer que se pode controlar a corrente que circula pelo circuito de placa, modificando-se a tensão da grade. Por esta razão, essa grade recebe o nome de **grade de controle**.

Outra observação importante: pelo circuito de grade, quando ela é negativa **em relação ao cátodo**, não passa corrente.

Em sua função mais importante, que é a de amplificadora a ser estudada mais tarde, a válvula-tríodo tem seus elétrodos polarizados, como fizemos na experiência da figura 12, ou seja:

**cátodo** - é o elétrodo de referência de tensões;

**placa** - positiva, em relação ao cátodo;

**grade** - negativa, em relação ao cátodo.

Nos esquemas, é comum indicar-se a tensão da bateria de alimentação da placa por Ebb e a de alimentação de grade por Ecc. Na **figura 13,** apresentamos o esquema de um tríodo com a indicação da polarização. Note que os elétrodos, placa, grade e cátodo são identificados por **p, g** e **k**, respectivamente.

O aluno observa, na figura 13, que
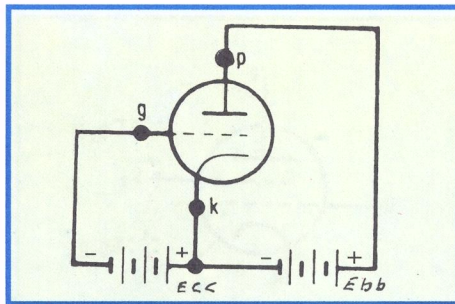
Figura 13 - Polarização da tríodo.

no cátodo existem dois sinais: o **+** e o **-**. Isto não quer dizer que o cátodo seja positivo e negativo, mas, simplesmente, que ele é positivo em relação à grade e negativo em relação à placa.

Note também que, nos esquemas, não se costuma indicar o filamento das válvulas de aquecimento indireto, porque a função desse elétrodo é, como sabemos, exclusivamente a de aquecer o cátodo para acelerar o desprendimento de elétrons.

As válvulas-tríodos, utilizadas em inúmeras aplicações práticas, eram fabricadas nos mais variados tamanhos e formas. Assim, existem tríodos usados em amplificadores e receptores que não têm mais de 2 cm (dois centímetros), e aqueles empregados nos transmissores que têm mais de meio metro. Das dimensões da válvula depende a potência que ela pode fornecer. Entre os dois tamanhos de tríodos citados, existe uma variada gama, destinada às mais diversas funções. De um modo geral, há três categorias de tríodos: tríodos para recepção, tríodos para transmissão e tríodos para fins especiais.

## IX - A válvula-tétrodo

A válvula-tríodo foi, praticamente, a "mãe da eletrônica". Com ela foi possível desenvolver os mais variados dispositivos, pois é capaz de executar todas as funções essenciais, que passaram a constituir o estudo dessa importante ciência.

Entretanto, em determinadas funções, tais como amplificadora de sinais de freqüências muito altas, por exemplo, o tríodo se mostrou deficiente. Então, foram desenvolvidas novas válvulas, mais aperfeiçoadas e complexas, com a finalidade de substituir os tríodos, onde eles se mostrassem ineficientes.

A primeira válvula que surgiu após o tríodo recebeu o nome de **tétrodo**, pois possui quatro (tetra significa quatro) elétrodos. Esse quarto elétrodo é mais uma grade colocada entre a grade de controle e o ânodo. A finalidade dessa grade é diminuir a capacitância entre a placa e a grade de controle. Vejamos o porquê disso:

Se o aluno analisar uma das figuras onde representamos o tríodo, por exemplo a figura 11, notará que a placa e a grade são dois elétrodos metálicos isolados um do outro pelo vácuo. Logo, constituem um pequeno capacitor, como estudamos na lição sobre capacitância. Ora, o mesmo acontece entre a grade e cátodo, e placa e cátodo.

As capacitâncias entre os elétrodos do tríodo (e de qualquer válvula) são chamadas de **capacitâncias intereletródicas**.

Na **figura 14,** desenhamos o esquema simbólico de um tríodo de aquecimento indireto (e, de agora em diante, salvo exceção, toda válvula que desenharmos será de aquecimento indireto e não indicaremos o filamento), onde mostramos as **capacitâncias intereletródicas**, desenhadas em pontilhado e externamente a válvula. Nesta figura:

Cgp é a capacitância entre grade e ânodo;

Cgk é a capacitância entre grade e cátodo;

Cpk é a capacitância entre placa e cátodo.
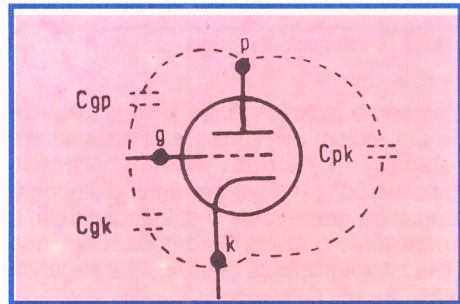
Figura 14 - Capacitâncias na tríodo.

Dessas capacitâncias, a mais importante é aquela entre placa e grade, Cgp, pelo valor e, também, porque está ligada entre o **elétrodo de entrada** da válvula, que é a grade, e o **de saída**, que é a placa.

Pois bem, quando o sinal tem freqüência alta, ele passa do ânodo para a grade e é novamente amplificado, voltando outra vez para a grade, sendo novamente amplificado e, assim, sucessivamente. Em linguagem técnica, diz-se que o sinal de saída é **realimentado**. O caminho da realimentação é a capacitância Cgp. A conseqüência da realimentação, no caso, será uma oscilação, isto é, a produção de um sinal de freqüência determinada, que perturbará o correto funcionamento da válvula como amplificadora.

Procurando diminuir os efeitos indesejáveis que a capacitância Cgp produz, os pesquisadores introduziram uma nova grade entre a placa e a grade de controle, criando, assim, um novo tipo de válvula, com quatro elétrodos que, como já citamos, recebeu o nome de **tétrodo**. A segunda grade do tétrodo recebe o nome de **grade auxiliar** ou **grade de blindagem**, sendo esta última denominação a preferida.

Na figura 15, mostramos uma válvula-tétrodo, ressaltando seus elétrodos e seu esquema simbólico é mostrado na figura 16.
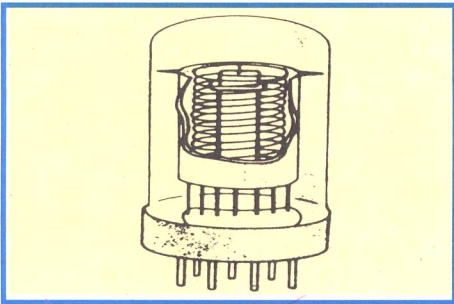
Figura 15 - Válvula tétrodo.

Como se nota pelo esquema, quando a válvula tem mais de uma grade,
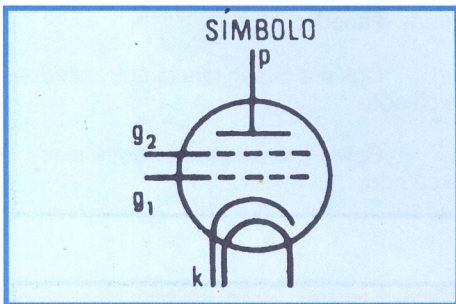
Figura 16 - Símbolo da tétrodo.

elas serão indicadas pela letra g, seguida de um índice, que indica sua posição em relação ao cátodo. Assim, a grade indicada por $g_1$; deve ser entendida como a primeira grade **após** o cátodo, ou seja, a grade mais próxima ao cátodo. Seguindo essa interpretação, a grade $g_2$ é a segunda grade a partir do cátodo.

A grade de blindagem age como uma blindagem eletrostática, entre a placa e a grade de controle, daí resultando o seu nome.

A grade de blindagem divide a capacitância entre grade de controle e placa, daí resultando o seu nome.

Como a grade de blindagem divide a capacitância entre grade de controle e placa em duas, é óbvio concluirmos que estaremos colocando-as em série, como ilustramos na figura 17. O aluno aprendeu que a capacitância resultante de uma associação em série é menor que qualquer das capacitâncias parciais; portanto, a capacitância Cgp de um tríodo ficará grandemente diminuída, se ele for transformado em um tétrodo, pois a capacitância entre as grades $g_1$ e $g_2$ é bastante pequena.

A polarização da grade de blindagem é normalmente feita por uma tensão positiva, retirada da mesma fonte que alimenta a placa. Na figura 18, mostramos como se polariza o tétrodo. Note que entre a grade de blindagem e a fonte foi intercalado um resistor $R_S$, o qual produz uma queda de tensão para que o potencial da grade de blindagem seja inferior ao da placa. Note,
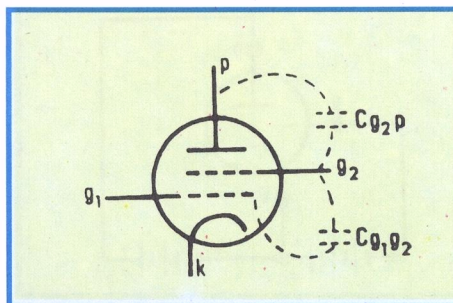
Figura 17 - Capacitâncias da tétrodo.
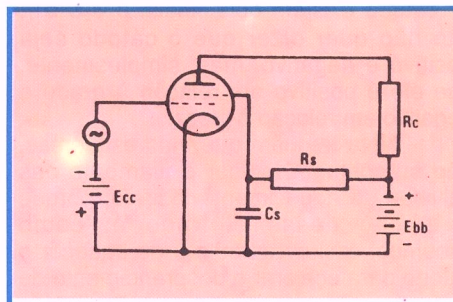
Figura 18 -Polarização da tétrodo.

também, que entre a grade de blindagem e o cátodo foi aplicado o capacitor $C_S$, o qual possui a finalidade de derivar para o cátodo o sinal variável, que aparece na grade de blindagem, quando a válvula funciona como amplificadora. Pela função que desempenha tal capacitor recebe o nome de capacitor de desacoplamento.

Embora a válvula-tétrodo seja muito mais eficiente que a tríodo, na amplificação de sinais de freqüência elevada, como é o caso dos sinais das ondas radiofônicas, a tensão amplificada é limitada por um fenômeno denominado **emissão secundária**, que consiste na emissão de elétrons, da placa para a grade de blindagem, portanto, contrariamente ao sentido da corrente de placa, que é do cátodo para a placa e grade de blindagem. Com isso, a corrente de placa diminui, mesmo que a tensão de placa seja aumentada (dentro de certos limites), o que provoca **distorção** (modificação da forma) do sinal amplificado.

Para contornar essa situação, criou-se o **pêntodo**.

## X - A válvula-pêntodo

Como a emissão secundária forma uma nuvem de elétrons entre a placa e a grade de blindagem, a solução encontrada para recolher esses elétrons foi intercalar, entre esses dois elétrodos do tétrodo, uma nova grade, mais negativa que a placa e que, portanto, repele os elétrons emitidos por ela, fazendo-os retornarem ao ânodo.

Dada a sua função de suprimir o efeito da emissão secundária, a terceira grade introduzida recebeu o nome de **grade supressora**.

Essa nova grade é semelhante às duas outras, ou seja, é constituída de metal e tem forma espiralada.

Com a introdução da nova grade, a válvula passa a ter cinco elétrodos e recebe o nome de **pêntodo** (penta significa cinco).

A grade supressora é ligada ao cátodo e, quase sempre, essa ligação já vem feita, internamente, pelo fabricante da válvula.

Na **figura 19**, desenhamos o esquema de uma válvula-pêntodo. A polarização dos elétrodos da válvula-
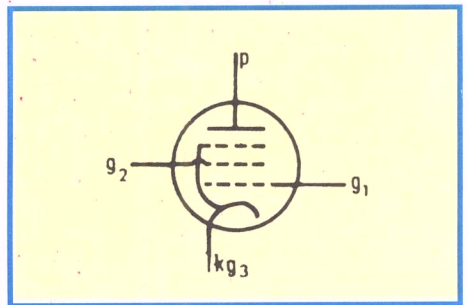
Figura 19 - Símbolo do pêntodo.

pêntodo é exatamente a mesma do tétrodo, já que a grade supressora deve ser ligada ao cátodo ou, eventualmente ao chassi.

A válvula-pêntodo foi a mais usada nas aplicações práticas, devido às sua excelentes qualidades e a sua eficiência como amplificadora.

## XI - Válvula de Feixe Dirigido

Os pesquisadores desenvolveram um tipo de válvula, com a qual é possível maior amplificação de potência do que com as válvulas pêntodo, nas mesma condições de polarização.

Tal válvula é, na realidade, um tétrodo de construção especial de modo que os 4 elétrodos agem como 5.

Nesta válvula, em vez de se neutralizar os efeitos da emissão secundária, usando uma nova grade (a supressora), usam-se elétrodos chamados de **blindagem ou defletores**.
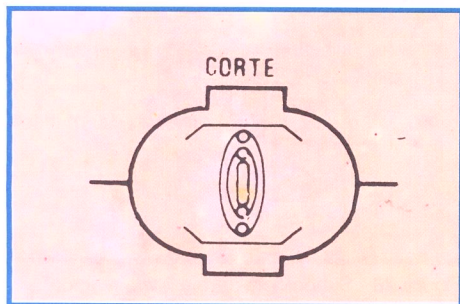
Figura 20 - Válvula vista por cima.
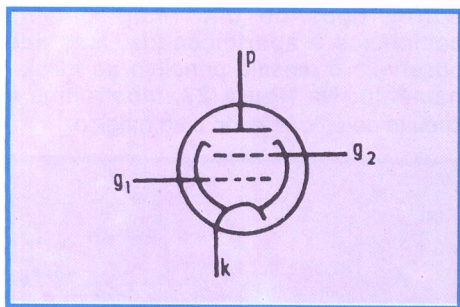
Figura 21- Simbologia para a válvula de feixe dirigido.

Na **figura 20**, mostramos uma vista dos elétrodos da válvula de feixe dirigido, enquanto seu símbolo é mostrado na **figura 21.**

Nota-se que o cátodo e as grades, de controle e de blindagem, têm forma ovalada. Além disso, as grades estão alinhadas. Devido a forma do cátodo, a emissão de elétrons se dá quase que exclusivamente na direção perpendicular à sua maior área, agrupando-se em feixes, que se dirigem à placa. Daí o nome de válvula de feixe dirigido.

## XII - Válvula de mu variável

Cada tipo de válvula tem um fator de amplificação, representado pela letra μ (mu). Esse fator depende da polarização da válvula.Nos tríodos e pêntodos comuns, quando a polarização varia pela aplicação do sinal, a válvula atinge, rapidamente, a situação de **corte** de corrente, cessando a amplificação. Tais válvulas são chamadas **válvulas de corte rápido.**

Entretanto, existem certas aplicações, como a do controle automático de volume dos receptores de rádio, onde é desejável que o som se mantenha com a mesma intensidade, quando se recebe uma estação muito forte ou outra muito fraca.

Ora, mesmo não tendo estudado o assunto, não é difícil o aluno deduzir que, para que isso aconteça, é necessário que a amplificação seja variável, isto é, grande quando o sinal for fraco, e pequena quando o sinal for forte. Para se conseguir esse efeito, foram construídas as válvulas de amplificação variável, ou de **mu variável**, também chamadas de **válvulas de corte remoto**. Note que a palavra **corte** se refere ao corte de corrente, isto é, àquela situação em que não circula corrente pelo circuito de placa.

A válvula de corte remoto difere daquela de corte rápido, somente na forma da grade de controle. De fato, na válvula de corte remoto a grade tem o espaçamento de suas espiras desigual, sendo que, no centro da grade, as espiras são mais espaçadas, como mostramos na figura 22.

Figura 22 - Grade de controle da válvula de corte remoto.

É fácil entender que, quando a tensão negativa de grade é levada a um valor bem mais alto (negativamente) do que o de seu funcionamento normal, mesmo assim grande parte dos elétrons passa pelo centro da grade, onde o espaçamento é maior e não leva a válvula ao corte.

## XIII- Válvulas especiais

Como decorrência do progresso da eletrônica, principalmente no campo da radiodifusão foram desenvolvidas válvulas especiais, com a finalidade de realizar funções específicas.

Dentre a série enorme de válvulas especiais, citaremos apenas as que interessam mais diretamente ao nosso curso:

### a) Válvulas conversoras

No sistema mais difundido de recepção de ondas de rádio, as altas freqüências irradiadas pelas emissoras devem ser convertidas em freqüências mais baixas até chegar às freqüências audíveis (som). Essa função é executada por uma válvula especial, denominada **válvula conversora**. Essa válvula contém sete elétrodos, portanto é um **héptodo** (hepta = 7). Como, desses sete elétrodos, cinco são grades, ela também é chamada de válvula **pentagrade.**
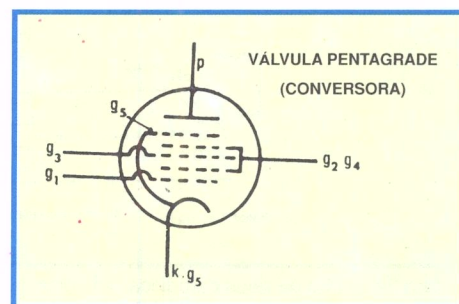
Figura 23 - Simbologia para a válvula pentagrade.

Na **figura 23,** apresentamos o diagrama simbólico de uma válvula pentagrade.

### b) Tubos de raios catódicos

Este tipo de válvula é utilizado no instrumento de laboratório chamado osciloscópio, que permite, entre outras coisas, visualizar a forma de onda de um sinal. É usado em aparelhos de radar e, principalmente, nos receptores de televisão.

As válvulas de raios catódicos são fabricadas nos mais variados tipos e tamanhos.

Fundamentalmente, constam de:

**1 - filamento**
**2 - cátodo**
**3 - grade de controle**
**4 - um ou mais ânodos**
**5 - tela fluorescente**

Além disso, se a válvula for do tipo de desvio eletrostático, terá dois pares de placas, um chamado de placas de deflexão horizontal e outro de placas de deflexão vertical, que servem para desviar o feixe de elétrons, horizontal e verticalmente, e formar a imagem na tela.

Na figura 24, mostramos o corte de um tubo de raios catódicos, que se costuma abreviar por TRC, do tipo eletrostático.

O seu funcionamento é o seguinte: o filamento aquece o cátodo, que emite elétrons. Estes passam por uma grade, que tem forma tubular, com um orifício para a passagem dos elétrons. Assim, variando-se a tensão negativa da grade, em relação ao cátodo, controla-se o feixe de elétrons, de maneira exatamente igual como vimos ao tratar dos tríodos.

Ao sair da grade, o feixe de elétrons passa por um **ânodo focalizador**, cuja função é focalizar, isto é, fazer com que o feixe de elétrons fique bem fino. Em alguns tipos de tubo não existe o ânodo focalizador, sendo essa função cumprida
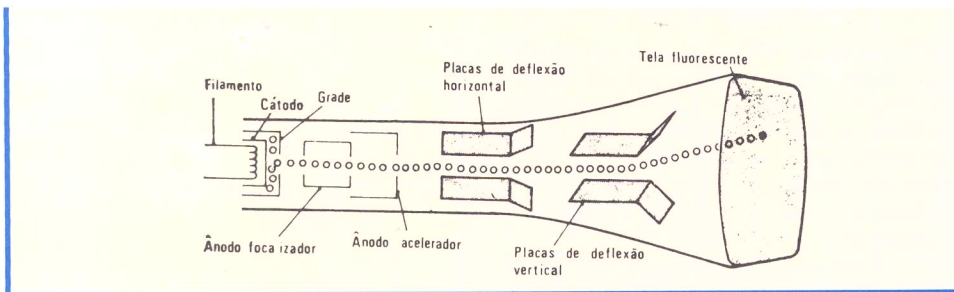
Figura 24 - Tubo de raios catódicos em corte.

Figura 26 - Simbologia para o "olho mágico".

por uma bobina, enrolada no pescoço do tubo. Quando o ânodo existe, como o da nossa figura, diz-se que o tubo é de focalização eletrostática, porque é um campo eletrostático (diferenças de potencial) que efetua a função. Quando a focalização é feita através do campo magnético criado pela bobina, diz-se que o tubo é de focalização magnética.

O ânodo focalizador tem aberturas, para os elétrons entrarem e saírem. É, também, de forma tubular.

Passando pelo elemento de focalização, os elétrons entram em um novo ânodo, ainda tubular, ligado a uma tensão elevada, cuja função é acelerar o feixe. Esse ânodo recebe o nome de **ânodo acelerador**.

Os elétrodos que acabamos de descrever formam o que se chama de **canhão** do tubo, pois sua função é projetar os elétrons contra a tela.

Depois de sair do canhão, o feixe de elétrons é desviado pelos elementos de deflexão e se choca com a tela fluorescente, formando uma imagem.

## c) Indicadores catódicos

Os indicadores catódicos são mais conhecidos por "**olho mágico**", porque, nos tipos primitivos, sua tela fluorescente apresentava certa semelhança com a íris do olho. Esse tipo de válvula era muito utilizado para indicar a correta sintonização dos aparelhos de rádio, sendo também usado em instrumentos de medida e em gravadores mais modestos, para indicar o nível de gravação.

O olho mágico consta de um tríodo amplificador de corrente contínua, de uma tela fluorescente e de um dispositivo de controle do feixe de elétrons, que formam a região indicadora.

O cátodo do tríodo ultrapassa a placa e se introduz na tela fluorescente, que é construída em forma de tronco de cone.

A placa do tríodo está, internamente, unida ao elétrodo de controle da região indicadora.

O funcionamento se dá do seguinte modo:

Liga-se um resistor R entre a tensão de alimentação (Ebb) e a placa do tríodo. A tela fluorescente é ligada diretamente à tensão Ebb.

Em funcionamento, o cátodo emite elétrons, que são recolhidos, tanto pela placa como pela tela fluorescente.

Chocando-se com a tela, eles produzem uma luminosidade característica (geralmente verde).

Quando varia a tensão de grade do tríodo amplificador, varia também a corrente de placa e, conseqüentemente, a diferença de potencial no resistor R. Ora, como o elétrodo de controle de feixe da Região indicadora está ligado à placa, sua tensão sofre a mesma variação e, assim, controla a parcela de elétrons que está sob sua influência e cria um cone escuro, conhecido como **cone de sombra**.

Vamos dar um exemplo que poderá elucidar melhor a questão. Suponhamos que a grade do tríodo esteja a 0 V. Neste caso, a corrente é máxima e também máxima é a queda de tensão no resistor R. Então, o elétrodo de controle do feixe fica com sua menor tensão em relação à tela e repele os elétrons que chegam até ele, formando o cone de sombra.

Quando a tensão de grade do tríodo está no seu valor de corte, não passa corrente pelo circuito de placa. Assim, tanto o elétrodo de controle do feixe, que está ligado à placa, como a tela fluorescente estão no mesmo potencial e não controlam os elétrons, deixando que a tela fique totalmente iluminada, o que equivale a dizer que o ângulo de sombra fica totalmente fechado.

Na **figura 25,** mostramos um olho mágico dos mais antigos, cujo símbolo é mostrado na **figura 26** e que serve para ilustrar o que descrevemos. Existem outros tipos de olho mágico mais complexos e aperfeiçoados, mas que observam o mesmo princípio de funcionamento. Na **figura 27**, mostramos o circuito de utilização do olho mágico.
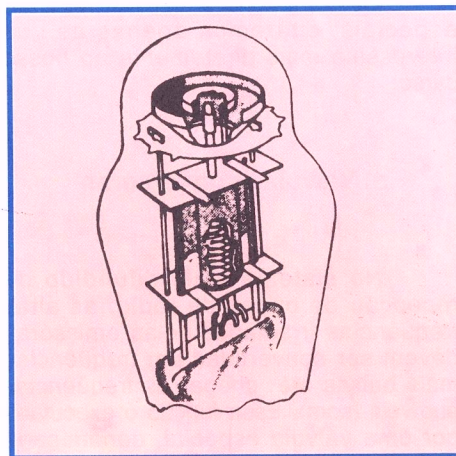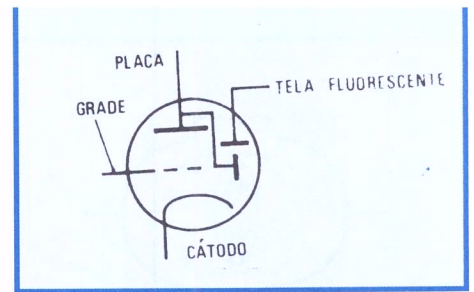
Figura 25 -"Olho Mágico".
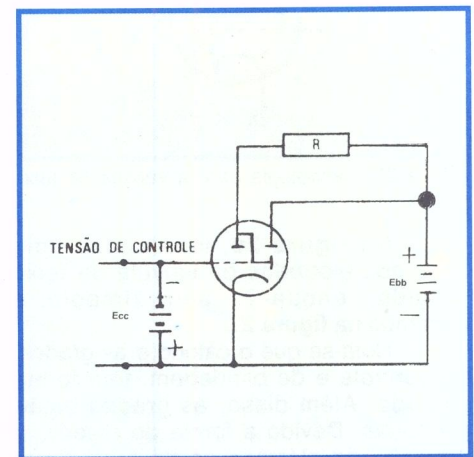
Figura 27 - Exemplo de circuito com olho mágico

## d) Outros tipos de válvulas

Além dos tipos especiais que citamos, havia ainda uma variedade imensa de outros tipos de válvulas, destinadas a desempenhar as mais diversas funções. Assim, existiam válvulas enêodos (9 elétrodos) desenhadas para deteção nos receptores de freqüência modulada, as válvulas tipo **farol, magnetron, klystron**, de **onda progressiva**, para equipamentos de ondas ultra-elevadas (microonda), etc.

# XIV - Válvulas múltiplas

Chama-se de válvula múltipla aquela que tem duas ou mais válvulas dentro do mesmo invólucro. Normalmente, o único elétrodo eletricamente comum às várias regiões é o filamento. As válvulas múltiplas eram muito utilizadas, porque permitiam grande economia de espaço, possibilitando a construção de aparelhos mais compactos.

# O TRANSISTOR

Pode-se considerar, como início da era da eletrônica, a invenção do tríodo por Lee de Forest. Daí em diante, a eletrônica passou por fantásticos desenvolvimentos e se introduziu em todos os setores da atividade humana, fossem eles científicos ou de entretenimento. Graças ao tríodo, foi possível a construção das emissoras de rádio, de televisão, de objetos teledirigidos, de instrumentos de medicina, de computadores eletrônicos, etc. Obviamente, tanto o tríodo como as válvulas de maior número de elétrodos evoluíram de maneira extraordinária, passando por aperfeiçoamentos elétricos e mecânicos. Mas, mesmo assim, esses componentes padeciam de um grave inconveniente: seu baixo rendimento. Para que o aluno tenha uma primeira idéia disso, podemos esclarecer que um receptor de rádio comum de cinco válvulas, possuindo transformador, retirava cerca de quarenta watts de energia da rede de alimentação, para produzir cerca de três watts de som. Essa baixa eficiência era devida, principalmente, ao fato de a válvula necessitar de grande aquecimento para a emissão de elétrons, como vimos na lição anterior. Para determinadas aplicações, tanto o consumo de energia como a quantidade de calor que as válvulas libertavam eram fatores limitativos de seu uso. Por exemplo, nas estações transmissoras e receptoras móveis, utilizadas pelos soldados em campanha, o uso de válvulas tornava o equipamento delicado, ou seja, bastante sensível a choques, e pesado, devido às baterias de boa capacidade que necessitavam. Nos equipamentos de grande potência, como nas emissoras de rádio e televisão comerciais, o desprendimento de calor exigido pelas válvulas era um problema sério, exigindo resfriamento eficiente e encarecendo o equipamento. O mesmo podemos dizer dos computadores, pois as primeiras gerações dessas máquinas possuíam milhares de válvulas, resistores, transformadores, etc., que são elementos que dissipam calor. Por isso, para que o computador fosse mantido na temperatura adequada, era necessária uma instalação de ar condicionado, de elevado custo.

Muitas pesquisas foram realizadas para descobrir um substituto para as válvulas eletrônicas, que tivesse suas qualidades e não possuisse seus principais defeitos. Tais pesquisas foram coroadas de êxito quando dois cientistas da Bell Telephones, dos Estados Unidos chamados Bardeen e Brattain, anunciaram ao mundo, em 1945,que haviam inventado o TRANSISTOR.

## I - O transistor

O transistor possui três elétrodos; portanto, é também um tríodo. Um dos elétrodos é chamado de **base**, outro de **emissor** e, finalmente, o terceiro de **coletor**. Na **figura 28**, apresentamos um transistor em seu aspecto típico, real, e na **figura 29** sua representação.

Devemos desde já salientar que, contrariamente ao que acontece com as válvulas, não há vácuo no interior do transistor e, por este motivo, ele costuma ser chamado de dispositivo de **estado sólido**. Logo, quando o aluno deparar
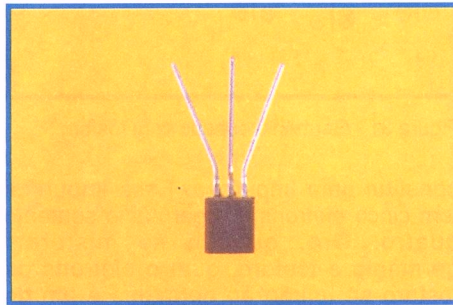
Figura 28 - Transistor.
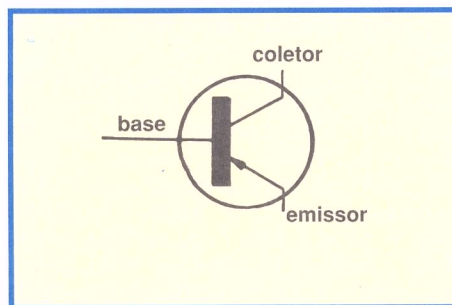
Figura 29 - Simbologia para o transistor tipo PNP.

com a inscrição inglesa “solid state” em um aparelho, poderá concluir que se trata de aparelho que usa transistores, ou seja, dispositivos de estado sólido, pois este é exatamente o significado da expressão “solid state”.

Os transistores substituem as válvulas a vácuo em todas as suas funções e apresentam, sobre elas, as seguintes vantagens principais:

a) Não necessitam de aquecimento para entrar em funcionamento, pois não têm filamento. Este fato significa uma grande economia de energia, e também, a vantagem do funcionamento instantâneo.

b) Têm dimensões reduzidas e peso incomparavelmente menor que o de uma válvula, mesmo as do tipo subminiatura. Para que o aluno sinta a disparidade de tamanho, esclarecemos que a válvula subminiatura, usada em amplificadores para surdez, tem comprimento de cerca de três centímetros e diâmetro de cerca de oito milímetros enquanto um transistor, para as mesmas finalidades, tem cerca de quatro milímetros de comprimento por quatro de diâmetro ou menos.

c) São bastante resistentes aos choques mecânicos e às vibrações, o que não acontece com as válvulas.

d) Não possuindo catodo nem filamento-cátodo (que são elétrodos sujeitos a desgastes), o transistor, teoricamente, não enfraqueçe nunca, o que equivale a dizer que tem vida ilimitada, fato esse que não acontece com as válvulas.

e) Funcionam com tensões relativamente baixas, o que contribui para a grande popularização dos receptores portáteis transistorizados pois foi possível utilizar pilhas para sua alimentação, sendo comum atualmente os receptores que usam uma só pilha, do tipo pequeno e que, mesmo assim, produzem potência sonora suficiente para impressionar nossos ouvidos.

Paralelamente a estas vantagens que citamos, o transistor apresenta também desvantagens que, no início, limitavam o seu emprego. Estas desvantagens eram, principalmente, as seguintes:

a) Grande sensibilidade à temperatura. As propriedades dos transistores dependem da temperatura; devem-se, portanto, tomar cuidados específicos para evitar os seus efeitos no circuito ou para não danificá-los durante a montagem.

b) Limitação de frequência. Os primeiros transistores funcionavam satisfatoriamente apenas na região das baixas freqüências. Atualmente, esse inconveniente foi sanado com novas técnicas de fabricação, possibilitando aos transistores competirem com as válvulas (mesmo no campo das ondas ultracurtas), sendo superados apenas no que se refere a transmissores de grandes potências.

c) Limitação de potência. De fato, os transistores ainda não suplantaram as válvulas na quantidade de potência que elas podiam controlar. Este fato é devido, principalmente, a sensibilidade do transistor à temperatura, pois, com potência relativamente alta, a energia desprendida internamente, sob a forma de calor, causa deterioração do transistor, destruindo-o.

## II - Junções

Pelo que apresentamos até o momento, o aluno, por certo, já se entusiasmou com o transistor, mas estará perguntando: O que será essa maravilha? Para que possamos responder a essa pergunta, temos, antes, que dar algumas explicações sobre as junções de materiais semicondutores. Vamos a elas.

### a) Semicondutor

Numa lição anterior de nosso curso, vimos que os corpos, quanto à facilidade com que eles podem conduzir a corrente, costumam ser classificados em

condutores, maus condutores, semicondutores e isolantes. Pois bem, para a construção e, conseqüentemente, o estudo dos transistores, o elemento mais importante é o semicondutor.

Classificamos como semicondutores os corpos cuja resistividade ou resistência específica está entre a dos condutores e a dos isolantes.

Os materiais mais importantes, atualmente, na fabricação de transistores e diodos são: germânio, silício, índio, arsênico, fósforo, gálio, etc.

O semicondutor é, como o aluno sabe, um mau condutor de eletricidade. Poderíamos dizer, apenas para situar a posição do semicondutor, que ele está mais para o lado do isolante que para o do condutor. Entretanto, quando se adiciona alguma substância a um semicondutor, como o germânio e o silício, suas propriedades elétricas sofrem profundas modificações. A substância que se adiciona ao semicondutor puro é chamada de **impureza** e chama-se de dopagem ao ato de adicionar-se tais impurezas ao semicondutor.

## b) Tipos de impurezas

Existem dois tipos de impurezas. Um deles é chamado de **doador** e o outro de **aceitador**. Vejamos o motivo.

Consideremos o semicondutor germânio. Ele, naturalmente, é formado de átomos de germânio. Cada átomo está ligado aos seus vizinhos através de quatro elétrons. Na figura 30, representamos no papel, isto é, no plano, uma estrutura de germânio, chamada em física de **rede** ou **estrutura cristalina**. Nessa figura, cada sinal (-), dentro do círculo,representa um elétron. Assim, cada átomo contribui com quatro elétrons para a união, havendo dois elétrons em cada união.

Suponhamos agora que ao germânio puro, como desenhamos na figura 30, seja dopado (misturado) com fósforo, que é uma substância que tem cinco elétrons rodeando o átomo. Essa substância adicionada ao germânio

Figura 30 - Estrutura do germânio.

Figura 31 - Germânio dopado com fósforo.

constitui uma impureza. Essa impureza tem cinco elétrons e o germânio somente quatro. Ora, quando se misturam germânio e fósforo, quatro elétrons do fósforo se unirão ao germânio e um de cada átomo ficará livre, porque não pode juntar-se a estrutura do germânio, uma vez que ela só aceita quatro. Na **figura 31,** representamos esse fato e, por um círculo cheio, o elétron livre.

Como o fósforo cedeu um elétron (para cada átomo de fósforo) ao germânio, ele, fósforo, é chamado de impureza **doadora**.

Se ligarmos uma bateria a esse material (germânio + fósforo), o elétron livre se moverá através do material para o pólo positivo da bateria. Há, então, passagem de corrente elétrica constituída por elétrons. O semicondutor formado é chamado de **semicondutor do tipo N** (negativo), já que os portadores de carga são os elétrons.

Mas, há outra possibilidade. Ao invés de dopar o germânio com fósforo, vamos adicionar a ele uma substância que tenha somente três elétrons na última camada (órbita), como o boro, por exemplo. Então, haverá um elétron a menos na ligação. Dizemos que há um **buraco** ou **vazio. Na figura 32,** ilustramos o fato, indicando a lacuna por um círculo vazio.

Quando um elétron da estrutura se dirige à lacuna para completar a ligação, o

Figura 32 - Germânio dopado com boro.

átomo de onde ele veio fica carregado positivamente, porque era neutro e perdeu uma carga negativa. Isto equivale a dizer que o átomo que cedeu o elétron ganhou uma **lacuna**.

Se outro elétron vem preencher a lacuna e restabelecer o equilíbrio do átomo, deixará, no átomo de onde partiu, outro buraco positivo (lacuna). Deste modo, as lacunas se movem no semicondutor e com a particularidade de o movimento das lacunas acontecer em sentido contrário ao dos elétrons.

Para que o aluno entenda bem como se dá o movimento das lacunas, vamos tomar uma folha de papel e, com um lápis, dividi-la em quadradinhos. Em seguida, vamos preencher todos os quadradinhos com bolinhas, por exemplo, menos um. Agora, se movimentarmos uma bolinha vizinha ao quadrado vazio, de modo a preenchê-lo, deixaremos **vazio** (um buraco) o lugar de onde tiramos a bolinha. Na **figura 33**, desenhamos uma folha com 42 quadrados. Vamos deixar vazio o quadrado que corresponde a linha
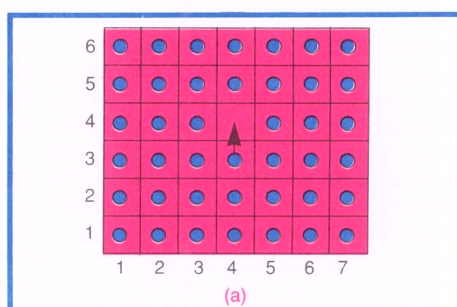
Figura 34 - Exemplificação do movimento das lacunas.

4 e coluna 4. Agora, se passarmos a bolinha que está na linha 3 e coluna 4 para o quadradinho vazio, o quadrado da linha 4 e coluna 4 ficará preenchido, mas da linha 3 e coluna 4 ficará vazio, como indicamos na **figura 34.** Então, observamos que, enquanto a bolinha subiu, o quadrado desceu, ou seja, o movimento da bolinha é contrário ao
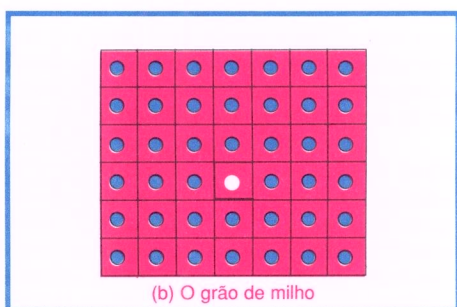
Figura 34 - Exemplificação do movimento das lacunas.

movimento do quadrado vazio.Outro possível exemplo do que estamos expondo consiste no quebra-cabeça similar ao mostrado na **figura 35.** Fato semelhante acontece quando o elétron de um semicondutor com impureza de três
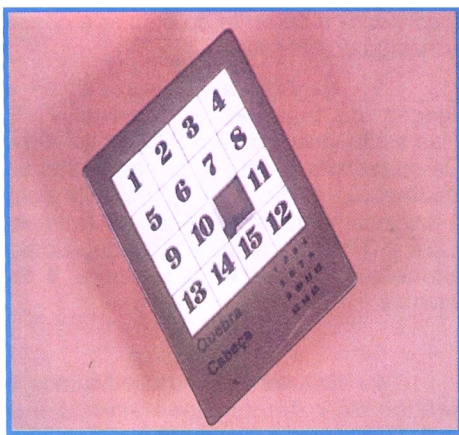
Figura 35 - Quebra-cabeças.

elétrons deixa sua posição para preencher um vazio.

A impureza do tipo do boro é chamada de **aceitadora**.

O germânio dopado com boro é chamado de semicondutor **P**, porque a maioria dos portadores de carga são lacunas.

Convém observar que os semicondutores do tipo **P** ou **N**, no estado natural, permanecem eletricamente neutros, porque a carga de cada elétron fica equilibrada pela carga positiva que existe no núcleo.

Além disso, se às extremidades de uma barra de qualquer desses semicondutores for ligada uma bateria, haverá passagem de corrente normalmente, ou seja, do pólo negativo para o positivo da bateria. Ainda mais, se os pólos da bateria forem invertidos, inverte-se-á também o sentido da corrente mas a intensidade permanecerá a mesma. Materiais do tipo **P** ou do tipo **N** podem ser dopados de maneira a apresentarem valores exatos de resistividade, sendo esta técnica muito empregada na construção de resistores internos a circuitos integrados.

Se o aluno compreendeu o mecanismo dos dois tipos de semicondutores, o **N** e o **P**, não terá dificuldade em entender o que acontece quando são postos em contato esses dois materiais, formando as **junções**.

## c) Junção PN

Vamos justapor, ou seja, encostar face a face uma barra de semicondutor **P** e outra de semicondutor do tipo **N**. Formamos, então, o que se chama de junção **PN**.

Quando isso acontece, na superfície da junção sucede o seguinte: os elétrons do semicondutor tipo N passam rapidamente através da superfície da união e vão preencher os buracos do semicondutor do tipo P. Mas essa transferência não dura indefinidamente, porque cada elétron que sai do semicondutor N deixa uma carga positiva (átomo que perde um elétron) e cada lacuna que é preenchida pelo elétron deixa uma carga negativa (átomo que ganha um elétron), já que, como afirmamos no item anterior, os dois semicondutores são, em separado, eletricamente neutros. Então, logo se forma uma camada de cargas positivas no semicondutor do tipo N e outra negativa no semicondutor do tipo P. Essas duas camadas impedem o prosseguimento da difusão, isto é, da passagem dos elétrons para a região P e das lacunas para a região N.

Essas duas camadas formam um obstáculo ao movimento das cargas majoritárias (elétrons e lacunas), que é chamado de **barreira de potencial**. Ela é equivalente a uma pilha imaginária, como ilustramos na **figura 36**, onde, para facilidade de desenho, representamos somente os elétrons no semicondutor tipo N e as lacunas no tipo P.
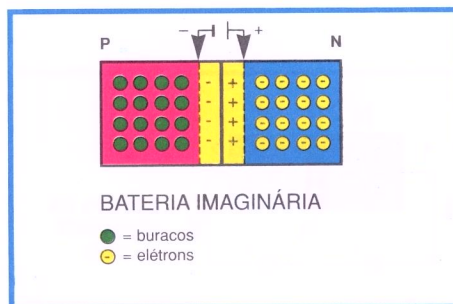
Figura 36 - Barreira de potencial na junção PN.

## d) Funcionamento da junção PN

Feita a junção da maneira explicada, vamos ligar aos seus extremos uma bateria e verificar o que acontece.

Inicialmente, liguemos o pólo positivo da bateria à região P e o negativo à região N, como mostramos na **figura 37.**

Nesta situação, as lacunas da região P são empurradas para a região de contato, e os elétrons da região N também são empurrados para a região de contato.

O pólo positivo da bateria atrai os elétrons e o negativo atrai as lacunas. Assim, no semicondutor, a corrente é formada pelo movimento dos elétrons e das lacunas.
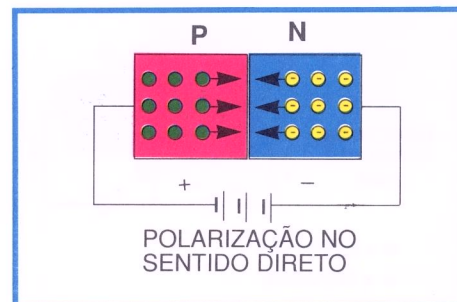
Figura 37 - Junção polarizada no sentido direto.

Quando a bateria é ligada da maneira descrita, ou seja, o pólo positivo ao semicondutor P e o negativo ao N, diz-se que a junção está **polarizada no sentido direto**, que corresponde ao sentido em que há passagem de corrente.

Se a bateria estiver ligada como mostramos na **figura 38**, o terminal negativo atrairá as lacunas e o positivo, os elétrons.
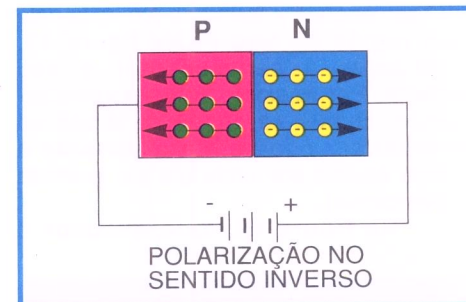
Figura 38 - Junção polarizada no sentido inverso.

Tanto elétrons como lacunas ficam concentrados nos extremos dos semicondutores, e não há passagem de corrente. Isto é a mesma coisa que aumentar a barreira de potencial.

Dizemos que a junção está polarizada no **sentido inverso**.

**Conclusão importante**:

> Uma junção PN comporta-se como uma válvula-diodo, porque deixa passar a corrente, quando polarizada no sentido direto, e impede a passagem da corrente, quando polarizada no sentido inverso.

Por essa razão, os diodos formados pelas junções PN de semicondutores, como o germânio e o silício, são largamente utilizados em eletrônica. Esses diodos têm muitas vantagens sobre as válvulas, pois são pequenos, não têm filamento, não necessitam de aquecimento para funcionar, são resistentes a choques mecânicos e podem ser construídos para amplos valores de corrente.

Na **figura 39,** mostramos o detalhe
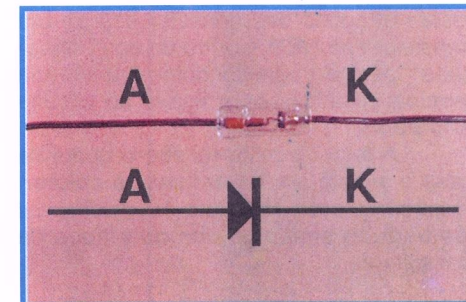
Figura 39 - Diodo de germânio.

interno de um diodo de germânio de baixa corrente. Devido à sua construção, ele é chamado de tipo **contato de ponta**. Esses diodos são usados na retificação (deteção) de corrente de alta freqüência.

O diodo de contato de ponta é formado por uma minúscula lâmina de germânio do tipo N. Nessa lâmina, encosta-se uma ponta de contato de bronze fosforoso, que recebe o nome de "bigode-de-gato". Durante a fabricação, faz-se passar corrente relativamente alta por esse contato e forma-se em volta dele uma região do tipo P. Na figura 39, mostramos o semicondutor e seu símbolo. Por analogia com as válvulas-diodos, chama-se ânodo do diodo ao terminal por onde entra a corrente e cátodo àquele por onde ela sai (sentido convencional).

Na **figura 40**, apresentamos o aspecto físico de alguns tipos de diodos.
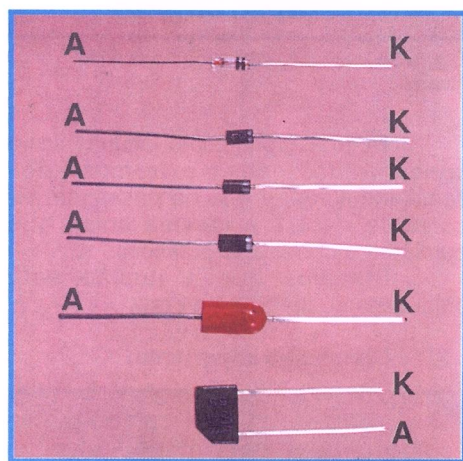
Figura 40 - Alguns diodos de potência.

## III - Estrutura do transistor

Dois semicondutores do tipo N, tendo entre si um semicondutor do tipo P, ou dois semicondutores do tipo P, tendo no meio um semicondutor do tipo N, formam o componente que recebe o nome de **transistor**. No primeiro caso, o transistor é do tipo NPN e, no segundo, PNP. Na **figura 41,** mostramos as representações das constituições de um transistor tipo NPN e outro do tipo PNP. A cada "fatia" de semicondutor é unido um terminal metálico, para ligá-la ao circuito externo.

A fatia do meio recebe o nome de base e as laterais, de **emissor** e **coletor**, respectivamente. Na figura 41, mostramos também os símbolos dos dois tipos de transistores.
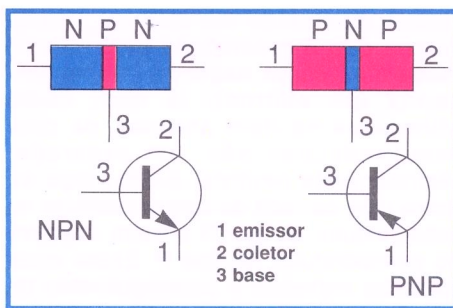
Figura 41- Representações das construções dos transistores NPN e PNP.

## Explicação do funcionamento do transistor

Consideremos um transistor NPN e polarizemos a junção emissor-base, no sentido direto, e a junção coletor-base, no sentido inverso, como está indicado na **figura 42.** Vejamos o que acontece.
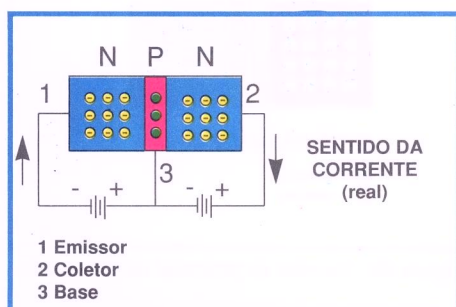
Figura 42- Polarização do transistor NPN.

1 - A junção NP - base-emissor - está polarizada no sentido direto. Então, os elétrons são empurrados pelo pólo negativo da bateria, até a base. Aí, uma pequena parte deles se recombina com as lacunas, que são poucos, já que a base é muito fina.

2 - A bateria que alimenta o coletor está em série com a bateria que alimenta o emissor; portanto, ela reforça o efeito desta última e atrai os elétrons que passaram pela base.

Assim, praticamente, todos os elétrons que partiram do emissor atingem o coletor, e a corrente do coletor é quase a mesma do emissor.
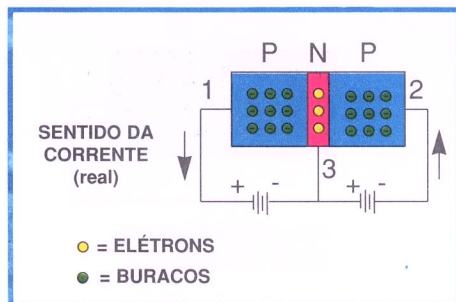
Figura 43 - Polarização do transistor PNP.

3 - Na **figura 43**, mostramos a ligação das baterias, no transistor PNP. Elas estão invertidas em relação ao NPN. Os portadores de corrente, agora, são as lacunas. As explicações que demos para o funcionamento do transistor NPN valem para o PNP, com a diferença, como afirmamos, de que o fluxo, agora, é de lacunas.

4 - Nas duas figuras, indicamos o sentido da corrente. Esse sentido é **o real**, que, como o aluno sabe, é contrário ao sentido convencional do movimento dos elétrons.

5 - Para indicar o sentido convencional da corrente e também identificar o emissor, nos desenhos esquemáticos, esse elétrodo tem uma ponta de seta. Assim, se num esquema observarmos que a seta está penetrando no transistor, poderemos concluir que ele é do tipo PNP. Contrariamente, se estiver saindo, será do tipo NPN.

6 - Tanto o emissor como o coletor são feitos do mesmo tipo de semicondutores. Entretanto, o coletor é mais volumoso que o emissor, como mostramos na **figura 44,** onde vemos o corte de um transistor chamado de transistor de junção, em virtude de seu tipo de construção.
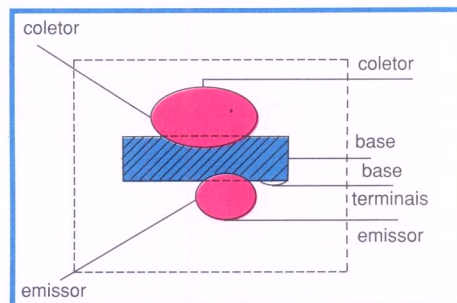
Figura 44 - Transistor em corte.

7 - Existem inúmeros tipos de transistores, que recebem classificação segundo o modo de construção. Assim, freqüentemente o aluno encontrará, nos manuais, as denominações: transistor de ponta, de junção, de mesa, epitaxial,etc.

8 - As dimensões dos transistores são bastante reduzidas. Os transistores de média potência, que se utilizam nos rádios transistorizados, são mais ou menos do tamanho de um grão de feijão.

# CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO-TV
# 6ª LIÇÃO PRÁTICA
## VÁLVULAS ELETRÔNICAS e TRANSISTORES

### Válvulas

Nesta lição, vamos examinar os aspectos práticos das válvulas eletrônicas, tais como sua estrutura interna. Porém, devido ao grande declínio no número de aparelhos valvulados existentes, não nos aprofundaremos em informações não tão necessárias à futura vida profissional do aluno. Não veremos, portanto, assuntos como tipos de válvulas, identificação de seus terminais, funções ou nomenclaturas.

Caso o aluno desejar aprofundar-se no estudo das válvulas, pode fazê-lo por intermédio da leitura de bons livros antigos sobre o tema, alguns ainda encontráveis em livrarias técnicas e/ou de livros usados.

### I - Estrutura de uma válvula

A estrutura interna dos vários tipos de válvulas difere entre si. Desses tipos, o mais comum é a válvula-pêntodo do tipo miniatura e, por essa razão, vamos descrever suas partes. Além disso, excetuando-se as válvulas especiais, as demais são semelhantes, em construção, ao pêntodo, embora tenham menor número de elétrodos, como é o caso dos tétrodos, tríodos e diodos, e possam variar no tamanho e forma de seus elétrodos.

#### 1 - Vácuo

Sabemos que o ar, dentro da válvula, dificulta o movimento dos elétrons. Além disso, o oxigênio do ar ativa a oxidação do filamento.

A fim de evitar a oxidação rápida do filamento, retira-se, o melhor possível, o ar de dentro da válvula. Em alguns casos, é introduzido na válvula um gás inerte, isto é, que não permite a oxidação.

#### 2 - "Getter"

Para eliminar o excesso de oxigênio, usa-se um elemento denominado "getter". O "getter" é um pequeno depósito de bário. Depois de fechada a válvula, uma corrente de alta freqüência externa faz o "getter" queimar-se, o que se dá pela combinação do bário com o oxigênio que ainda permanece no interior da válvula. O óxido de bário que se forma provoca uma mancha escura no vidro da válvula, nas imediações do "getter".

Na **figura 45,** onde vamos mostrar as partes de uma válvula-pêntodo do tipo miniatura, de vidro, que era a mais comum, indicamos o "getter" pela letra **a**.

Em **b** da figura 45, mostramos os espaçadores empregados no pêntodo que estamos descrevendo.

#### 4 - Placa

A placa ou ânodo é o elemento que recebe os elétrons emitidos pelo cátodo. Ela é "tubular" e é colocada circundando os outros elétrodos da válvula. Em **c** da figura 45, mostramos uma das formas mais comuns de placa, das válvulas-miniatura.
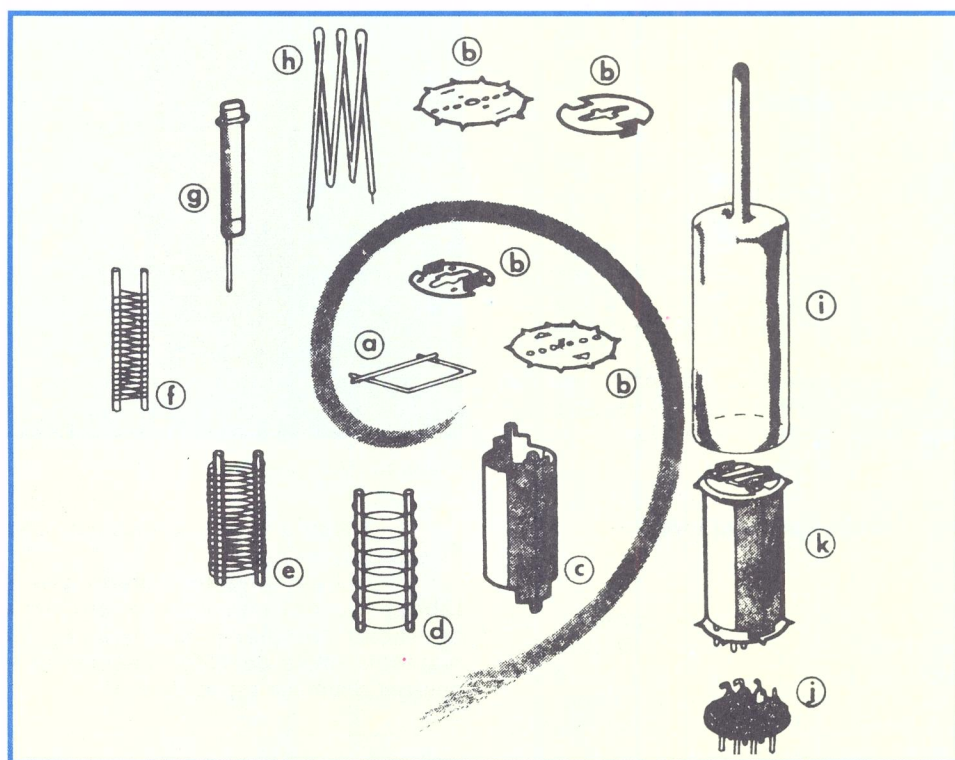
Figura 45- Partes que compõem uma válvula.

#### 3 - Espaçadores isolantes

Todos os elétrodos da válvula devem constituir uma estrutura rígida, para que não haja possibilidades de contato de um elétrodo com outro, o que inutilizaria a válvula e, também, para que a posição de um elétrodo não mude em relação aos outros, o que modificaria as características de funcionamento da válvula. Assim, utilizavam-se **espaçadores** feitos de **mica**, um material mineral de grandes propriedades isolantes.

#### 5 - Grade supressora

Em **d** da figura 45, mostramos a grade supressora. Ela tem as espiras mais afastadas que as das outras grades.

Quando a grade é de pequeno diâmetro ela normalmente apresenta a forma espiralada (em forma de espiral). Se são grandes, os fios são soldados, nas duas hastes de sustentação, ficando com

a forma de círculos ou elipses.

### 6 - Grades de blindagem e de controle

As grades de blindagem e de controle da válvula tem o mesmo aspecto, mas diâmetros diferentes. Em **e** da figura 45, mostramos a grade de blindagem e, em **f,** a de controle.

### 7-Cátodo

O cátodo está mostrado na **figura 45g.** Como se nota, ele tem a forma de um tubinho metálico e tem sua superfície externa revestida com bário ou estrôncio, para facilitar o desprendimento de elétrons. As dimensões do cátodo dependem do tipo de válvula. Nas válvulas de potência, o cátodo e também o ânodo têm dimensões maiores que nas válvulas de pequena potência.

### 8 - Filamento

Como sabemos, trata-se do elétrodo que aquece o cátodo, para que ele emita elétrons. Assim, constrói-se o filamento usando um fio de tungstênio, revestido por uma camada de óxido de alumínio, cuja função é a de isolá-lo, a fim de que não entre em curto-circuito com o cátodo.

Na **figura 45h,** mostramos um tipo de filamento. O filamento é introduzido no tubinho, que constitui o cátodo.

### 9 - Ampola de vidro

Constitui o elemento de fechamento da válvula. É feita de vidro especial, que torna possível o vácuo em seu interior e apresenta facilidade de "soldagem" no "botão". Na **figura 45i**, mostramos a ampola de vidro. O aluno deve observar que, no topo da ampola, mostramos o tubo por onde se extrai o ar e se fecha a válvula.

### 10 - Botão

Chama-se de "botão" a base que suporta os pinos, os quais permitirão a ligação dos elétrodos da válvula com os circuitos externos. Na **figura 45j**, apresentamos o "botão" da válvula-miniatura, pêntodo, de que nos servimos para esta exposição. Os pinos da válvula são construídos com material (ligas metálicas) cuja dilatação é sensivelmente igual a do vidro para evitar trincas durante a soldagem e, também, a entrada de ar, o que, como sabemos, "queimaria" a válvula.

### 11 - Jaula

O conjunto dos elétrodos e espaçadores, depois de montados, recebe o nome de **jaula**. Na **figura 45k**, apresentamos o aspecto da jaula.

A jaula é soldada aos pinos do botão e, em seguida, solda-se a ampola ao botão. Finalmente, para terminar a montagem, a válvula sofre aquecimentos controlados, para extração do ar, após o que ela é fechada pelo tubinho de vidro do topo da ampola.
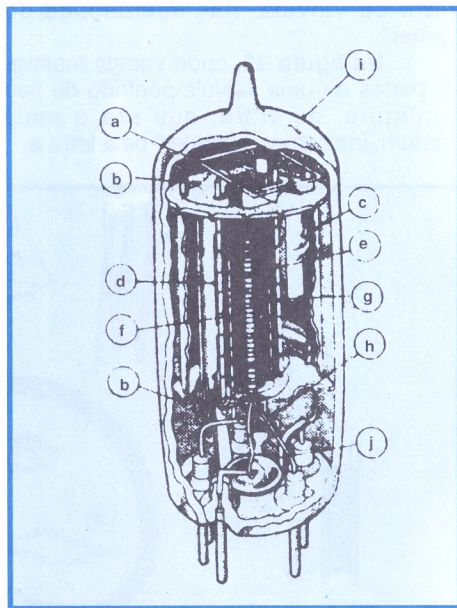
Figura 46 - Válvula em corte.

Na **figura 46,** mostramos um corte da válvula montada.

O aluno deve ter notado que a fabricação de uma válvula era uma operação complexa, envolvendo os materiais (mais de 100), maquinaria e pessoal altamente especializado.

# OS TRANSISTORES

Nesta lição, examinaremos alguns detalhes práticos dos transistores, principalmente o modo de identificar seus elétrodos de ligação, seus tipos principais, cuidados nas ligações, etc. Naturalmente, ainda não analisaremos a aplicação de transistores em circuitos eletrônicos, coisa que faremos somente após o estudo dos componentes passivos (resistor, capacitor e indutor), quando submetidos a fontes de corrente alternada, isso a partir da próxima lição.

## I - Estruturas NPN e PNP

Na lição teórica, mostramos que os transistores podem ser do tipo **NPN** ou do tipo **PNP**. No tipo NPN, é feito um "sanduíche" de dois materiais do tipo **N,** havendo entre eles uma camada de material do tipo P. Na **figura 47,** mostramos um desenho ilustrativo do
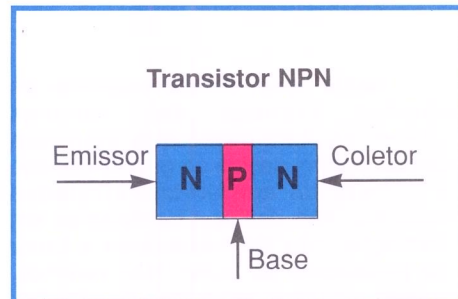
Figura 47 -Representação da estrutura do transistor NPN.

transistor NPN. Uma das regiões N recebe o nome de **emissor**, a outra recebe o nome de **coletor** e a região **P** recebe o nome de **base**.

Quando a estrutura tem duas regiões P e uma N, o transistor é chamado de tipo PNP. Agora, tanto o emissor como o coletor são do tipo P e a base é do tipo N. Na **figura 48,** mostramos tal tipo de transistor.

Além da estrutura de três terminais
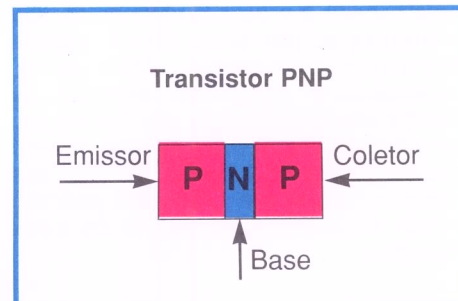
Figura 48 - Representação da estrutura do transistor PNP.

que citamos acima, são possíveis outras configurações, como **PNPN** ou **NPNP**.

Essas estruturas, chamadas de **transistor-tétrodo ou tirístor**, têm propriedades muito interessantes completamente diferentes das propriedades das válvulas. A base, em qualquer dos tipos de transistor, é bastante delgada, seja ela N ou P.

Entre o emissor e o coletor não há diferença de princípio de funcionamento, mas diferem pela construção.

Em cada uma das três regiões do transistor, vai ligado um fio de conexão, para ligação ao circuito externo. Esses fios são chamados de **terminais**.

## II - Polarização do transistor

O transistor, para que funcione perfeitamente, deve ter seus elétrodos (emissor, base e coletor) ligados corretamente aos pólos da fonte de alimentação de corrente contínua, geralmente pilhas. Na figura 49, mostramos a polarização do transistor PNP e na 50 a do transistor NPN. O aluno deve observar que os sentidos de correntes são contrários nos dois tipos de transistores. Entretanto a junção emissor-base sempre é polarizada no sentido da condução, chamado **sentido direto**, e a junção coletor-base no sentido da não condução, dito **sentido inverso**.

Em sendo assim, resultam, para os transistores NPN e PNP, as polaridades que indicamos nas figuras 49 e 50. O aluno observa que para o tipo PNP a base é negativa, em relação ao emissor, e positiva, em relação ao coletor.

Para o tipo NPN, vale tudo o que afirmamos para o tipo PNP, com a ressalva de que as baterias são invertidas.
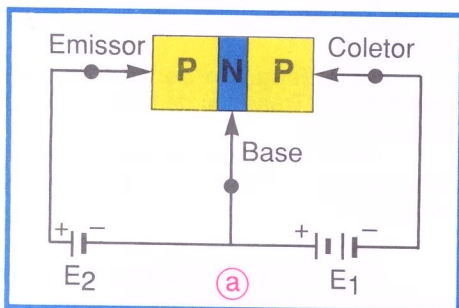
Figura 49 - Polarização de um transistor PNP.
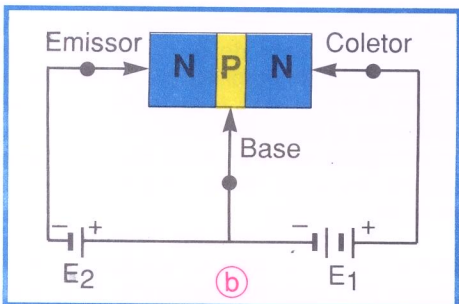
Figura 50 - Polarização de um transistor NPN.

**Obs.**: Conforme estudaremos, no momento oportuno, não se usam duas baterias separadas para a alimentação do transistor, mas uma única, da qual se tiram as tensões necessárias através de resistores divisores de tensão.

## III - Representação esquemática do transistor

Assim como fizemos com as válvulas, também representaremos os transistores por desenhos esquemáticos. Como os transistores só têm três terminais, sua representação é bastante
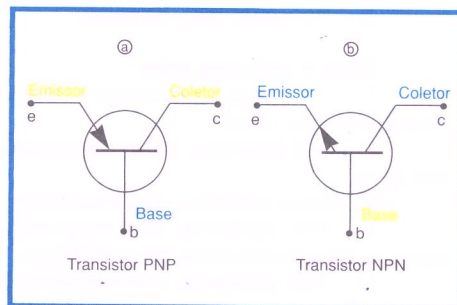
Figura 51- Simbologia adotada para os transistores.

simples. Nas figuras 51, mostramos os desenhos esquemáticos dos transistores PNP e NPN.Como o aluno nota, trata-se de um círculo envolvendo um traço mais grosso, representativo da base, e dois outros evidentemente mais finos, inclinados em relação ao traço da base, que representam o emissor e o coletor. Para distinguir o emissor do coletor, no traço do emissor existe uma ponta de flecha, que também serve para mostrar o sentido convencional da corrente. Assim, nos transistores PNP a corrente entra pelo emissor, e nos transistores NPN a corrente sai pelo emissor. De fato, se o aluno verificar as figuras 49 e 50, poderá facilmente deduzir o sentido da corrente, nosentido convencional, evidentemente. Assim, na figura 49, notamos que, para o conjunto emissor-coletor, as baterias $E_1$ e $E_2$ estão em série e o pólo positivo está ligado ao emissor; logo, a corrente **entra** por esse terminal. Na figura 50, que representa o transistor NPN para o conjunto emissor coletor as baterias $E_1$ e $E_2$, também estão em série, mas, agora, o terminal negativo da associação está ligado ao emissor; portanto, a corrente **sai** pelo emissor.

## IV - Identificação do transistores

Os transistores sofreram desenvolvimento muito mais rapidamente que o das válvulas e, como conseqüência disso, não há um padrão universal, quer nas características, quer na identificação de tipos de transistores, ou seja, não há uma notação lógica que seja empregada por todos os fabricantes e que permita ao técnico, a partir desta notação, obter informações sobre os tipos de transistores e suas características técnicas. Alia-se a isto a faixa **de dispersão** de características, o que torna impossível encontrar-se, em um lote de transistores de mesma identificação, dois ou mais componentes idênticos, principalmente para o fator de amplificação que, em alguns casos, pode atingir 50% (cinqüenta por cento). Isto quer dizer que um transistor, cuja indicação nominal de fator de amplificação de corrente seja 100, na realidade pode possuir qualquer valor entre 50 e 150.

Naturalmente, os projetistas de circuitos transistorizados observam tais detalhes durante a execução de um projeto, de modo que o aluno não deve preocupar-se, ao efetuar a substituição de um transistor danificado, ao reparar um aparelho, por outro possuidor de mesma identificação.

Como aconteceu às válvulas, os métodos de identificação de transistores são bastante confusos, e cada fabricante possui um método particular. De um modo geral, podemos dizer que os métodos de classificação de transistores são os seguintes:

### a) Numérico

A série exclusivamente numérica foi empregada no início da era do transistor e, atualmente, foi abandonada por completo. Como exemplo dessa série, podemos citar os transistores 100, 101, 200, 900, 3678, etc. Dificilmente, o aluno encontrará um transistor pertencente à essa série, em sua vida profissional.

### b) Sistema Americano

Este sistema é assim chamado devido ao fato de que a grande maioria dos fabricantes americanos adortarem-no. Chamado de "Sistema Jedec", o mesmo consiste na codificação do componente com o prefixo "2N", seguido de um sufixo composto por 3 ou 4 algarismos, os quais definem sua classificação.

Infelizmente, tal sufixo não acrescenta nenhuma informação de ordem prática, obrigando ao técnico a consultar os manuais especializados para conhecer os diversos tipos e seus parâmetros.

### c) Sistema Japonês

Trata-se de um sistema semelhante ao americano, inclusive em sua origem, ocasionada devido à adoção pelos fabricantes, de normas ditadas pelo "Japonese Institute of Standards" (JIS), órgão que visa, tal qual o "Jedec", uma padronização na fabricação de componentes eletrônicos.

Desta maneira, os transistores de origem japonesa apresentam o prefixo básico "2S", e que é sempre seguido de uma letra e um sufixo formado por dois ou mais algarismos.

Apesar do sufixo numérico (tal como ocorre no sistema americano) não acrescentar informação alguma de ordem prática, o sistema japonês diverge do sistema americano na presença da letra intermediária entre o sufixo e o prefixo, a

qual acrescenta importantes informações de ordem prática sobre o tipo e utilização do componente. Assim sendo, apresentamos a seguir tais letras e seus respectivos significados:

A - transistor tipo PNP, para altas freqüências.
B - Transistor tipo PNP, para baixas freqüências.
C - Transistor tipo NPN, para altas freqüências.
D - Transistor tipo NPN, para baixas freqüências.
H - Transistor tipo unijunção.
J - Transistor tipo FET de canal P.
K - transistor tipo FET de canal N
OS - Fototransistor.

Conforme indica este sistema de classificação, podemos interpretar o código 2SA77 como sendo o de um transistor tipo PNP, para altas freqüências (indicado pela letra A). Quanto aos demais parâmetros deste componente, estes são determinados pelo algarismo "77" e são apenas obteníveis em manuais técnicos editados pelos fabricantes.

Outros exemplos: o código 2SC56 indica-nos que se trata de um transistor tipo NPN, para alta freqüência (indicado pela letra C) enquanto que o código 2SB415 refere-se a um componente do tipo PNP empregado para amplificação de baixas freqüências. Novamente, os demais parâmetros somente são indicados em manuais.

### d) Sistema europeu

Trata-se do sistema adotado também pelos fabricantes nacionais de transistores e por empresas tais como a Philips, SID e outras. É o sistema de codificação que oferece o maior número de informações acerca do componente consistindo na adoção de um prefixo alfabético, que pode ser composto por duas ou três letras, seguidas de uma indicação numérica, à qual pode ou não ser acrescido um sufixo alfabético.

> Geralmente, o prefixo de três letras é empregado para componentes industriais, fornecidos diretamente pelo fabricante às indústrias que os utilizam na montagem de seus produtos, sendo, portanto, de difícil aquisição no mercado.

Para o prefixo de duas letras, podemos afirmar que a primeira delas indica o material empregado na confecção do transistor (se o mesmo é de silício ou de germânio), enquanto que a segunda traz informações de ordem prática referente às suas aplicações, conforme indicado a seguir:

**Para a primeira letra :**

A - Transistor feito de germânio.
B - Transistor feito de silício.

**Para a segunda letra:**

C - Baixa potência, baixa freqüência, uso geral.
D - Alta potência, baixa freqüência, uso geral.
F - Baixa potência, alta freqüência.
L - Alta potência, alta freqüência (apenas para transistores de germânio).
U - Alta potência, chaveamento e comutação.
PX - Fototransistor.
PY - Fototransistor.

Assim como ocorre com os demais sistemas, os números que sucedem o prefixo alfabético indicam os demais parâmetros do componente, inclusive suas polaridades (o que não ocorre no sistema japonês), e são interpretáveis apenas com o auxílio de manuais. Porém, a codificação alfabética fornece, como vimos, muitas informações de ordem prática, conforme demonstram os exemplos abaixo.

AC127 - Trata-se de um transistor de germânio (indicado pela letra A), baixa freqüência, baixa potência, para uso geral (indicado pela letra C).
BC337 - Transistor de silício (letra B), baixa potência, baixa freqüência, uso geral (letra C).
AD162 - Transistor de germânio (letra A), alta potência, baixa freqüência (letra D).
BF254 - Transistor de silício (letra B), baixa potência, alta freqüência (letra F).

Quanto à sufixação alfabética, esta é composta por uma letra (A, B, C, etc.), a qual indica que o componente em questão é um equivalente de melhores características técnicas que seu precedente, ou seja, alguns parâmetros são melhorados. Assim, por exemplo, um transistor BC337A é um equivalente do BC337, porém o primeiro suporta uma tensão entre emissor e coletor maior que àquele.

### c) Outros sistemas

Alguns fabricantes de componentes possuem o hábito de codificarem seus componentes conforme sistemas próprios de codificação e, portanto, desvinculados das padronizações e sistemas descritos. Para estes casos, convém ao técnico consultar, em qualquer hipótese, os manuais dos fabricantes, já que nem sempre é possível ter-se certeza absoluta acerca da função deste ou daquele componente.

Apenas a título de exemplificação, vamos ilustrar dois destes sistemas, sendo o primeiro adotado pela Texas Instruments:

TIP (seguido de dois ou mais algarismos) - Trata-se de um transistor de alta potência, baixa freqüência, encapsulamento plástico.

TIS (seguido de dois ou mais algarismos) - Indica transistor de baixa potência, para pequenos sinais.

TIC (seguido de dois ou mais algarismos) - Indica um tiristor (triac ou SCR), encapsulamento plástico.

Outro exemplo de sistema de identificação é o adotado pela Motorola, e que ilustramos a seguir:

MJ (seguido de dois ou mais algarismos) - Indica transistor de silício, alta potência, encapsulamento metálico.
MJE (seguido de dois ou mais algarismos) - Indica transistor de silício, alta potência, encapsulamento plástico.
MP (seguido de dois ou mais algarismos) - Indica transistor de germânio, alta potência, encapsulamento metálico.
MPS (seguido de dois ou mais algarismos) - Transistor de baixa potência, pequeno sinal.
MPF (seguido de dois ou mais algarismos) - Transistor de efeito de campo (FET).

## V - Identificação dos terminais dos transistores

A identificação das características de um transistor, tais como tensão de coletor, corrente de base, corrente de coletor, fator de amplificação, **e também a identificação dos terminais da base, emissor e coletor**, somente é possível consultando-se o **manual do fabricante** do transistor ou, então, algum outro que seja de confiança.

A disposição dos terminais dos transistores, na base do encapsulamento (base do invólucro), depende do tipo do transistor. Infelizmente, não existe regra que permita identificar os terminais e a solução é mesmo consultar o manual.

Na figura 52, mostramos a posição dos terminais de alguns transistores, exatamente para que o aluno possa observar a diversidade de disposição e encapsulamentos, o que impossibilita o enunciado de qualquer regra prática. Buscando ilustrar os tipos mais comuns de encapsulamentos e disposições de seus terminais; obviamente, não é possível mostrar todos os tipos fabricados devido à grande variedade existente.

## VI - Encapsulamento

Todo transistor é colocado dentro

de um invólucro, que tem diversas funções: serve para envolver os componentes do transistor, conferindo-lhe rigidez mecânica, para evitar que a umidade penetre nas junções e danifique o transistor, para dissipar o calor das junções semicondutoras, que surge quando o transistor conduz corrente; serve para proteger os semicondutores da luz, porque a incidência desta pode provocar o aumento de corrente e a danificação do transistor, etc. O invólucro ou caixa de transistor é chamado de **encapsulamento**. O encapsulamento pode ser de metal ou de um plástico especial, chamado de "epoxi". Os transistores de baixa potência, geralmente, são encapsulados em "epoxi". Os transistores de alta potência e também os que trabalham em freqüências elevadas são encapsulados em caixa metálica. A vantagem de encapsular os transistores de potência em caixa metálica está em que o coletor fica diretamente ligado nela, facilitando a dissipação de calor. Nos transistores que trabalham em freqüência alta, a caixa metálica serve como blindagem, isto é, evita que sinais indesejáveis interfiram no funcionamento do transistor.

## VII - Soldagem de transistores

Os transistores são dispositivos relativamente fortes, isto é, suportam pancadas que, normalmente, danificariam as válvulas. Mas, há uma coisa para a qual o transistor é especialmente sensível: o calor.

De fato, o excesso de calor destrói o equilíbrio dos átomos no interior do transistor,danificando-o irremediavelmente. Ora, para soldar um transistor a um circuito é necessário sempre o uso de calor. Quando se usa o soldador, sua ponta aquece o estanho e este transmite o calor aos terminais de ligação, os quais, por sua vez, conduzem esse calor a parte sólida do transistor e, se não forem tomados certos cuidados, o transistor se danificará. Quando a soldagem se faz por banho, como nas grandes indústrias, que utilizam o chassi de **circuito impresso**, o tempo de imersão na solda deve ser bem controlado, para evitar a destruição do transistor.

Para soldar um transistor em seu devido lugar, o aluno deve identificar corretamente os terminais do transistor, consultando o manual do fabricante, pois, se ele for ligado erradamente, poderá ser destruído quando da ligação do aparelho à fonte de energia. Além disso, mesmo que o transistor não seja destruído, ele deverá ser dessoldado, para ser novamente ligado, aumentando a possibilidade de danificar-se pelo excesso de aquecimento.
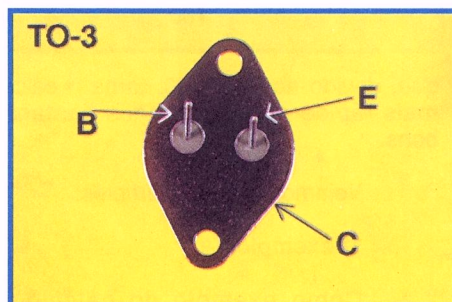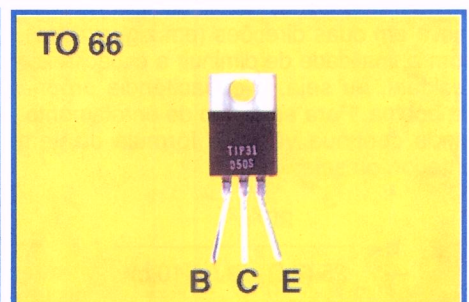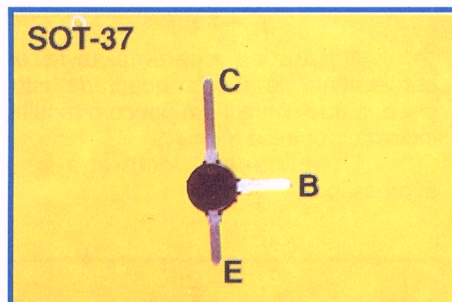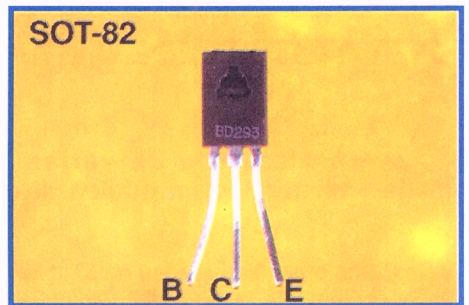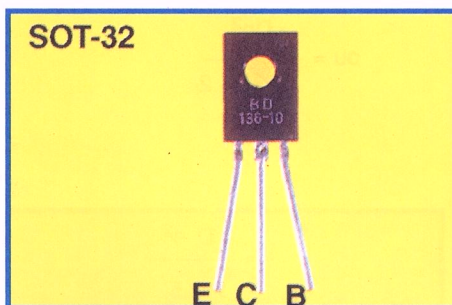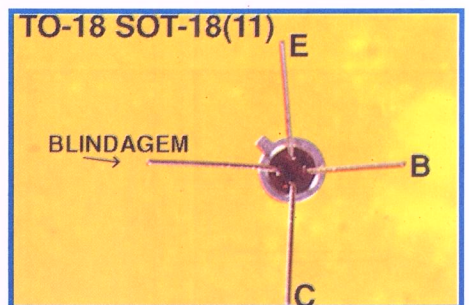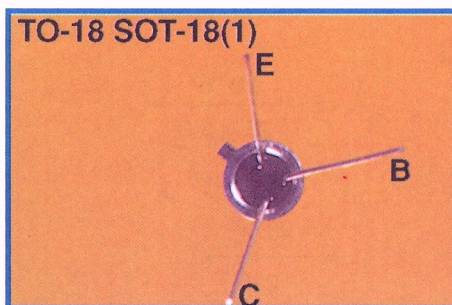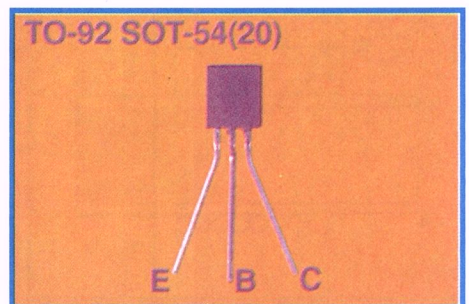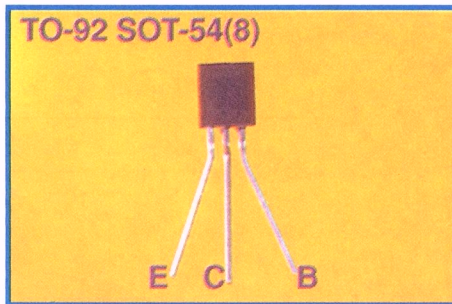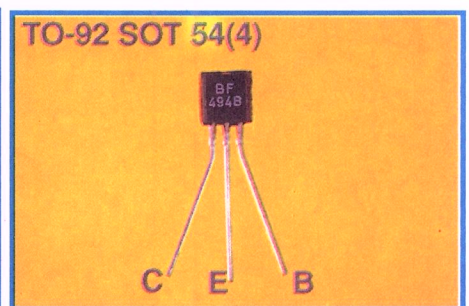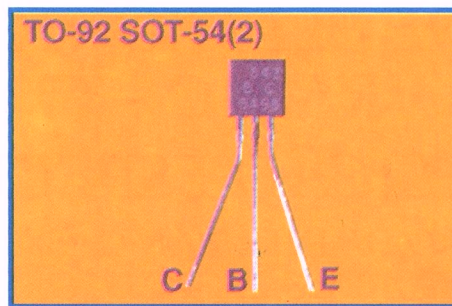
Figura 52 - Alguns tipos mais comuns de encapsulamento e suas respectivas disposições de elétrodos.

# CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA RÁDIO - TV

# 6ª LIÇÃO ESPECIAL

## CÁLCULO DE INDUTÂNCIAS (2ª PARTE) e TECNOLOGIA DOS TRANSISTORES (1º PARTE)
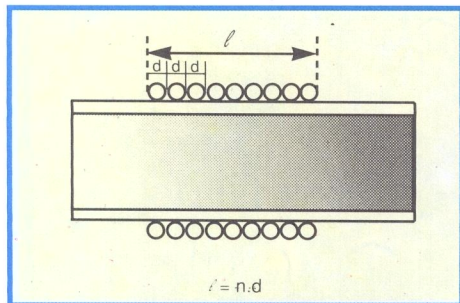
Figura 10 - Como calcular o comprimento.
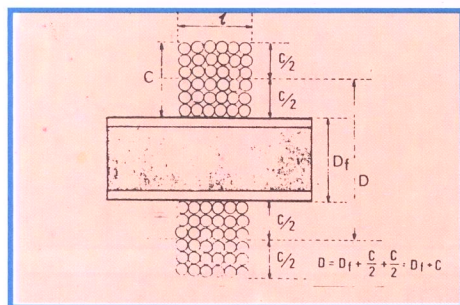
Figura 11 - Bobina com várias camadas em corte.

### c) Enrolamento de várias camadas, bilateral, com núcleo de ar

Como o aluno aprendeu na 5ª lição prática, costuma-se enrolar as bobinas de grande indutância, de modo que o fio se mova em duas direções (em ziguezague), com a finalidade de diminuir a capacitância residual, ou seja, a capacitância própria da bobina. Para esse tipo de enrolamento, ainda continua válida a fórmula do item anterior, ou seja:

$$L = \frac{2D^2n^2}{25\,(3\,D + 9\,l + 10\,c)}$$

Observou-se que essa fórmula dá resultado mais exato quando os três termos do denominador são iguais, ou seja:

$$3\,D = 9\,l = 10\,c$$

Isto quer dizer que devemos ter D = 3 $l$, isto é, o diâmetro igual a três vezes o comprimento do bobinado e $c = \frac{9}{10}\,l$, ou seja, a altura igual a 0,9 (nove décimos) do bobinado. Substituindo esses valores, na fórmula, teremos:

$$L = \frac{2\,D^2 \times n^2}{25\,(3\,D + 9\,\frac{D}{3} + 10\,\frac{9}{10}\,\frac{D}{3})}$$

$$L = \frac{2D^2n^2}{25\;(3\,D + 3\,D + 3\,D)}$$

$$L = \frac{2\,D^2\,n^2}{25 \times 9\,D}$$

$$L = \frac{2\,Dn^2}{225}$$

$$\text{ou} = \frac{Dn^2}{225 \div 2}$$

$$L = \frac{D\,n^2}{112{,}5}$$

Na prática, costuma-se fazer o enrolamento de secção quadrada, isto é, c = e, o que diminui um pouco o resultado indicado por essa fórmula.

Usualmente, emprega-se a expressão:

$$L = \frac{Dn^2}{100}$$

que, devido ao fator 100, torna o cálculo mais rápido e dá resultados bastantes bons.

Vejamos alguns exemplos:

**1º exemplo**:

Como exemplo do cálculo de indutância com várias camadas e núcleo de ar, vamos considerar um enrolamento que tenha 110 espiras, enroladas em fôrma de 7,3 mm, de maneira que o comprimento $l$ do bobinado seja de 4,5 mm e a altura c, de 3,5 mm.

**Solução**:

Para calcular a indutância, apliquemos a fórmula:

$$L = \frac{2D^2n^2}{25\,(3\,D + 9\,l + 10\,c)}$$

onde:

D = Df + c = 7,3 + 3,5 = 10,8 mm ou 1,08 cm
c = 3,5 mm ou 0,35 cm
$l$ = 4,5 mm ou 0,45 cm
n = 110

Substituindo esses valores, na fórmula acima, teremos:

$$L = \frac{2 \times (1{,}08)^2 \times (110)^2}{25\,(3 \times 1{,}08 + 9 \times 0{,}45 + 10 \times 0{,}35)}$$

$$L = \frac{2 \times 1{,}1664 \times 12\,100}{25\,(3{,}24 + 4{,}05 + 3{,}5)}$$

$$L = \frac{28\,226{,}88}{269{,}75}$$

L = 105 μH, aproximadamente.

**2º exemplo**:

Vamos, como sendo exemplo de aplicação de cálculo de bobina de várias camadas com enrolamento bilateral, determinar a indutância de uma bobina com as seguintes características:

D = 22,4 mm ou 2,24 cm
$l$ = c = 3,5 mm ou 0,35 cm
n = 280 espiras

Como se trata de enrolamento de secção quadrada ($l$ = c), podemos, sem grande erro, aplicar a fórmula:

$$L = \frac{n^2D}{112{,}5}$$

donde,

$$L = \frac{(280)^2 \times 2,24}{112,5}$$

$L = 1\ 561\ \mu H$, aproximadamente.

**Observação**: As fórmulas do enrolamento de várias camadas, aplicadas ao enrolamento bilateral simples (também chamado de enrolamento universal) dão resultado cerca de 10% menor do que o verdadeiro; por isso, é conveniente considerar a indutância real como sendo 1,1 da indutância calculada pelas fórmulas dadas.

Assim, nos exemplos dados, podemos considerar

$L = 1,1 \times 105 = 115,5\ \mu H$

para o primeiro resultado e

$L = 1,1 \times 1\ 561 = 1\ 717,1\ \mu H$

para o segundo.

Note o aluno que, no caso do enrolamento quadrado, ou seja $l$ = c, a expressão:

$$L = \frac{n^2 . D}{100}$$

dá resultado bem próximo do real.

Assim, se tivéssemos aplicado diretamente essa expressão ao último exemplo, encontraríamos:

$$L = \frac{(280)^2 \times 2,24}{100}$$

$$L = \frac{175\ 616}{100}$$

$L = 1.756,16\ \mu H$

bastante próximo de $1.717,1\ \mu H$, que é o valor de L, calculado pela fórmula do enrolamento de várias camadas e corrigido (10% a mais) para enrolamento universal.

## d) Enrolamento plano

No caso de bobina plana, isto é, em que a altura c é bem maior do que o comprimento $l$ do bobinado, pode-se aplicar a expressão:

$$L = \frac{D^2 n^2}{40\ D + 110\ c}$$

onde **D** é o diâmetro médio em centímetros, **c** é a altura do erolamento em centímetros e **n** é o número de espiras. A indutância L resultará em microhenrys.

A fórmula acima dá resultados bastante precisos, quando o valor de c se aproxima de $\frac{D}{2}$. Nestas condições, ela pode ser simplificada para:

$$L = \frac{D\ n^2}{95}$$

Como exemplo, calculemos a indutância de um enrolamento, construído enrolando-se, umas sobre as outras, 75 espiras de fio, cujo diâmetro é 1,0 mm em uma forma de 7,5 cm.

**Solução**:

Como as espiras estão sobrepostas, a altura do enrolamento é:

$c = n\ .\ d = 75 \times 1,0 = 75mm = 7,5$ cm

O diametro médio do enrolamento é:

$D = Df + c = 7,5 + 7,5 = 15,0$ cm

Como $\frac{D}{2} = 7,5$ cm e c também vale 7,5 cm, podemos aplicar a fórmula:

$$L = \frac{D\ n^2}{95}$$

donde:

$$L = \frac{15 \times (75)^2}{95}$$

$L = 888\ \mu H$, aproximadamente.

## e) Bobina com espaçamento, núcleo de ar e uma só camada

Freqüentemente, há necessidade de enrolar bobinas com fio NU. Em conseqüência, não pode encostar uma espira na outra, porque eliminaria o efeito da indutância. Nestes casos, o enrolamento é executado com espaçamento, isto é, de modo que as espiras guardem certa distância entre si.

Figura 12 - Enrolamento espaçado em corte.

Enrolamentos desse tipo são utilizados nas bobinas para freqüências altas (ondas curtas). Na **figura 12**, mostramos o corte de um enrolamento espaçado, onde **D** é o diâmetro médio, $D_f$ é o diâmetro da forma, **d** o diâmetro do fio, **n** o número de espiras, **s** o espaçamento entre espiras e $l$ o comprimento do enrolamento.

Para determinar a indutância de um enrolamento com espaçamento, podemos aplicar qualquer das três fórmulas que indicamos para bobina sem espaçamento, mas o comprimento $l$, agora, deve ser calculado em função do espaçamento.

De um modo geral, podemos escrever que:

$$l = n\ d + (n - 1)s$$

onde **n** é o número de espiras, **d** o diâmetro do fio e **s** o espaçamento entre espiras. No caso particular em que o espaçamento é igual a um diâmetro do fio, teremos:

$$l = (2\ n - 1)d$$

À guisa de exemplificação, vamos determinar a indutância de um enrolamento que tenha 11 espiras de fio 20AWG, cujo diâmetro é de 0,81 mm, enroladas em fôrma de 19 mm e com espaçamento simples, isto é, igual ao diâmetro do fio.

**Solução**:

Como o diâmetro do fio é pequeno em relação ao da forma, vamos considerar:

$D = Df = 19$ mm ou 1,9 cm

O comprimento do enrolamento é:

$l = (2n - 1)\ d = (2 \times 11 - 1)0,81$
$l = 21 \times 0,81 = 17$ mm ou 1,7cm

Vamos aplicar a fórmula:

$$L = \frac{n\ D^2}{100\ d} .K$$

Teremos, inicialmente, de determinar o valor de K. Como:

$$\frac{D}{l} = \frac{1,9}{1,7} = 1,117, \text{ aproximadamente,}$$

resulta, da tabela I:

$K = 0,667315$

que arredondamos para 0,667.

Note que na tabela não há o valor

1,117; por isso, consideramos o mais próximo, que é 1,10.

Finalmente, substituindo todos os valores na fórmula, teremos:

$$L = \frac{11 \times (1,9)^2 \times 0,667}{100 \times 0,081}$$

$L = 3,27\ \mu H$, aproximadamente.

## 2º) Determinação do número de espiras

O segundo problema sobre indutores que se apresenta, freqüentemente, na prática, consiste em determinar o número de espiras que deve ter um enrolamento, para que apresente a indutância desejada.

As fórmulas para a solução do problema decorrem de transformações algébricas das expressões apresentadas para o cálculo de L (indutância). Como há várias incógnitas nessas fórmulas, é necessário fixar algumas delas, para que somente o número de espiras fique como elemento desconhecido.

Nas linhas que se seguem, apresentaremos as expressões para o cálculo do número de espiras para bobinas com uma camada, várias camadas, bilateral e chata, que são as de uso generalizado na prática.

### a) Bobina de uma camada, com núcleo de ar, sem espaçamento.

Das três fórmulas que apresentamos para o cálculo da indutância de bobina de uma só camada, com núcleo de ar e sem espaçamento, resultam as seguintes expressões para o cálculo do número de espiras:

1ª) $n = \frac{l \cdot L}{0,00987\, K\, D}$ ou $\frac{1}{D} \times \sqrt{\frac{l \cdot L}{0,00987 K}}$

2ª) $n = \frac{100\, L \cdot d}{D^2 K}$

3ª) $n = \frac{L\,(45D + 100\, l)}{D^2}$ ou $\frac{1}{D}\sqrt{L(45\,D + 100 l)}$

A última delas é mais rápida, porque não depende do fator K. Além disso, dá resultados bastante satisfatórios, nas aplicações usuais de radiotécnica.

Vamos ver alguns exemplos de aplicação dessas fórmulas:

**1ª exemplo**:

Determinar o número de espiras que deve ter um enrolamento de uma só camada sem espaçamento, para que a indutância seja de 100 $\mu H$.

**Solução**:

Comecemos a resolução do problema, escolhendo a 1ª fórmula. Como só conhecemos o valor da indutância, devemos impor valores para o comprimento $l$ do enrolamento e o diâmetro D da forma. É claro que podemos impor qualquer valor, entretanto, existe uma relação entre D e $l$ para a qual resulta o fator de mérito (Q) mais elevado. Essa relação é:

$$\frac{D}{l} = 2,46$$

à qual corresponde K igual a 0,47, aproximadamente. Determinemos o número de espiras, impondo Q máximo. Como as fôrmas que existem a venda são de dimensões padronizadas, devemos escolher a fôrma e determinar o valor de $l$, através da relação dada mais acima. E sendo assim, escolhamos uma fôrma hipotética de 19 mm, ou seja, 1,9 cm. Dessa escolha resulta:

$$\frac{D}{l} = 2,46$$

donde: $l = \frac{D}{2,46} = \frac{1,9}{2,46} = 0,77$ cm.

Como D = 1,9 cm, $l$ = 0,77 cm K = 0,47 e L = 100 $\mu H$, substituímos esses valores na 1ª fórmula e encontramos :

$$n = \frac{1}{1,9} \cdot \sqrt{\frac{0,77 \times 100}{0,00987 \times 0,47}}$$

$$n = \frac{1}{1,9} \cdot \sqrt{\frac{77}{0,0046389}}$$

$$n = \frac{1}{1,9} \cdot \sqrt{16\,599}$$

$$n = \frac{128,8}{1,9} = 67 \text{ espiras aproximadamente.}$$

Para completar o problema, devemos determinar o diâmetro do fio a ser usado no enrolamento. Para isto, basta lembrar que $l = n \cdot d$, donde:

$$d = \frac{l}{n} = \frac{0,77}{67} = 0,0114 \text{ cm}$$

d = 0,114 mm

o condutor, cujo diâmetro mais se aproxima desse valor, é o nº 37AWG.

**2º exemplo**:

Apenas a título de verificação, vamos determinar o número de espiras do exercício anterior, utilizando as outras duas fórmulas.

1º) $n = \frac{100 \cdot L \cdot d}{D^2 \cdot K}$

Como o diâmetro do condutor não é conhecido no início do problema, vamos transformar a expressão acima, substituindo d por $\frac{l}{n}$. Virá:

$$n = \frac{100\, L}{D^2\, K} \cdot \frac{l}{n} \quad \text{ou} \quad n^2 = \frac{100\, L.\, l}{D^2\, K}$$

Sabemos que L = 100 $\mu H$, $l$ = = 0,77 cm, D = 1,9 cm e K = 0,47; logo, substituindo na fórmula, teremos:

$$n^2 = \frac{100 \times 100 \times 0,77}{(1,9)^2 \times 0,47}$$

$$n^2 = \frac{7\,700}{3,61 \times 0,47}$$

$$n^2 = \frac{7\,700}{1,6967} = 4\,538$$

ou: $n = \sqrt{4538} = 67,36$

ou 67 espiras, aproximadamente.

2º) Pela aplicação da fórmula:

$$n = \frac{1}{D} \cdot \sqrt{L\,(45D + 100\, l)}$$

resulta:

$$n = \frac{1}{1,9} \times \sqrt{100\,(45 \times 1,9 + 100 \times 0,77)}$$

$$n = \frac{1}{1,9} \times \sqrt{100\,(85,5 + 77)}$$

$$n = \frac{1}{1,9} \times \sqrt{16\,250}$$

$$n = \frac{1}{1,9} \times 127,47 = 67,08$$

n = 67 espiras, aproximadamente.

Como o aluno observa, as três fórmulas deram resultados bastante semelhantes; por conseguinte, qualquer delas pode ser utilizada. Particularmente, achamos a última a mais interessante, por não depender de K, evitando-se, assim, o uso de tabelas ou gráficos.

## b) Bobinas de uma só camada, com núcleo de ar e com espaçamento

Quando se trata de bobina com uma só camada e de espiras espaçadas, o cálculo para a determinação do número de espiras ainda é feito pela transposição dos termos das fórmulas apresentadas, mas no caso, ele é mais trabalhoso, uma vez que há interdependência entre o comprimento do bobinado, o número de espiras e o espaçamento, pois, como mostramos, o comprimento do bobinado é:

$$l = n\,d + (n - 1)\,.\,s$$

Para calcular o número de espiras, deve-se substituir o valor de $l$ em qualquer das expressões que apresentamos para o cálculo da indutância L, e determinar **n**.

Fazendo isso, recai-se em uma equação algébrica do 2º grau, cuja solução positiva de **n** é o número de espiras procurado.

Para evitar o trabalho de resolver a equação, damos abaixo a expressão que permite determinar **n**, para o enrolamento de espaçamento simples, ou seja, corresponde a um diâmetro do condutor. A expressão é:

$$n = 0,25 + \sqrt{0,63 + \frac{50\,l\,L}{D^2 K}} \quad (1)$$

Quando a indutância é superior a 10 μH, pode-se utilizar, sem grande erro, a expressão:

$$n = \sqrt{\frac{50\,l\,L}{D^2\,K}} \quad (2)$$

**1º exemplo**:

Determinar o número de espiras que deve ter um indutor enrolado com espaçamento simples, com enrolamento de 17 mm, em fôrma de 19 mm de diâmetro, para que tenha indutância de 3,25 μH.

**Solução**:

Conhecemos:

L = 3,25 μH
D = 19 mm ou 1,9 cm
$l$ = 17 mm ou 1,7 cm

Para utilizar a fórmula, falta-nos K. Esse fator é encontrado na tabela I. A relação:

$$\frac{D}{l} = \frac{1,9}{1,7} = 1,12 \text{ aproximadamente}$$

dá o valor com o qual encontramos na tabela:

K = 0,667, aproximadamente.

Agora substituindo na equação (1), vem:

$$n = 0,25 + \sqrt{0,63 + \frac{50 \times 3,25 \times 1,7}{(1,9)^2 \times 0,667}}$$

$$n = 0,25 + \sqrt{0,63 + \frac{276.25}{2,41}}$$

$$n = 0,25 + \sqrt{0,63 + 114,63}$$

$$n = 0,25 + \sqrt{115,26}$$

Como:

$$\sqrt{115,26} = 10,74$$

resulta:

$$n = 0,25 + 10,74$$

n = 10,99 espiras, aproximadamente 11 espiras.

Resta-nos, agora, determinar o condutor a ser utilizado. Para isso, basta aplicar a expressão:

$$d = \frac{l}{2n - 1} = \frac{1,7}{22 - 1} = \frac{1,7}{21}$$

d = 0,0809 cm ou 0,809 mm

Consultando uma tabela de fios, vemos que mais se aproxima desse valor é o de nº 20 AWG.

**2º) exemplo**:

Determinar o número de espiras que deve ter um indutor enrolado em fôrma de 12 mm de diâmetro, com espaçamento simples, para que apresente 15 μH, em um enrolamento de 20 mm de comprimento.

**Solução**:

L = 15 μH
D = 12 mm ou 1,2 cm
$l$ = 20 mm ou 2,0 cm

A relação $\frac{D}{l} = \frac{1,2}{2,0} = 0,6$, à qual corresponde K = 0,788.

Substituindo esses valores na fórmula (2), teremos:

$$n = \sqrt{\frac{50\,l\,L}{D^2\,K}}$$

$$n = \sqrt{\frac{50 \times 2,0 \times 15}{(1,2)^2 \times 0,788}}$$

$$n = \sqrt{\frac{1\,500}{1,134}}$$

$$n = \sqrt{1\,322,75}$$

n = 36,37 espiras ou 36 espiras, aproximadamente.

O fio a ser utilizado será:

$$d = \frac{l}{2n - 1} = \frac{2,0}{2 \times 36 - 1} = \frac{2}{71}$$

d = 0,028 cm ou 0,28 mm

O condutor, cujo diâmetro mais se aproxima desse valor, é o de nº 29 AWG.

## c) Bobina de enrolamento bilateral e núcleo de ar

A fórmula para o cálculo do número de espiras para bobina de

enrolamento bilateral com núcleo de ar, que se emprega com maior freqüência, é :

$$n = 10 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

com a condição de que a secção do bobinado seja quadrada e que o diâmetro médio D seja igual a 3 vezes a altura do enrolamento.

**Exemplo**:

Como exemplo de aplicação da fórmula acima, vamos calcular o número de espiras que deve ter um enrolamento bilateral, sobre fôrma de 7 mm e com enrolamento de secção quadrada de 3,5 mm, para que apresente indutância de 115 μH.

**Solução**:

O diâmetro médio do enrolamento é:

$$D = D_f + c = 7{,}0 + 3{,}5 = 10{,}5 \text{ mm}$$

Como o lado do enrolamento é de 3,5 mm, está satisfeita a condição $D = 3 \cdot c = 3 \cdot 3{,}5 = 10{,}5$ mm e podemos aplicar a fórmula:

$$n = 10 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

Substituindo L por 115 μH e D por 1,05 cm, teremos

$$n = 10 \sqrt{\frac{115}{1{,}05}}$$

$$n = 10 \sqrt{109{,}52}$$

n = 10 x 10,46 = 104 espiras, aproximadamente.

O diâmetro do condutor será calculado pela expressão:

$$d = \frac{l}{\sqrt{n}}$$

Como $l$ = 3,5 mm e n = 104 espiras,

$$d = \frac{3{,}5}{\sqrt{104}} = \frac{3{,}5}{10{,}20} = 0{,}34 \text{ mm},$$

aproximadamente.

d) **Bobina plana**

Para este tipo de indutor a fórmula que dá o número de espiras em função de suas dimensões é :

$$n = \sqrt{\frac{95\,L}{D}}$$

com a condição de que a altura do enrolamento seja, aproximadamente igual a D/2.

**Exemplo**:

Determinemos o número de espiras que deve ter uma bobina plana, para que tenha 200 μH de indutância, se enrolada em uma fôrma circular, com diâmetro interno de 10 cm.

**Solução**:

Fazendo c = 10 cm resultará:
$D = D_f + c = 10 + 10 = 20$ cm

logo, igual a 2 vezes c, no que se verifica a condição de $c = \frac{D}{2}$

Agora, aplicando a fórmula:

$$n = \sqrt{\frac{95 \cdot L}{D}}$$

teremos:

$$n = \sqrt{\frac{95 \times 200}{10}}$$

$$n = \sqrt{1\,900}$$

Portanto:

n = 43,59 espiras

O diâmetro do fio será:

$$d = \frac{c}{n} = \frac{10 \text{ cm}}{43{,}59} = 0{,}229 \text{ cm}$$

ou: d = 2,29 mm

Consultando a tabela de fios, encontramos que o condutor nº 11 AWG é o que mais se aproxima desse valor.

## II - Bobina com núcleo de ferro

Para aumentar a indutância de uma bobina, sem necessidade de aumentar o número de espiras ou modificar suas dimensões físicas, basta introduzir, no interior da fôrma, um núcleo de material ferromagnético de alta permeabilidade. O material ferromagnético é conhecido vulgarmente como **ferrite** (ou ferrita) e sua permeabilidade varia desde 2 até mais de 100, dependendo do material cerâmico utilizado em sua confecção.

A indutância de uma bobina com núcleo de ferrite e dada pela expressão:

$$L = L_o \times \mu$$

onde $L_o$ é a indutância com núcleo de ar e μ é a permeabilidade do material.

Assim, se desejássemos construir uma bobina com 100 μH, utilizando núcleo de permeabilidade de 10, bastaria construí-la para 10 μH e introduzir o núcleo de ferrite na fôrma.

## III - Influência da blindagem

Nas aplicações dos indutores, muitas vezes é necessário introduzi-los dentro de uma caneca metálica chamada blindagem, para evitar que seu funcionamento seja perturbado por campos eletromagnéticos indesejáveis e, também, para que o campo do próprio indutor não interfira nos componentes vizinhos.

A blindagem, agindo como uma espira em curto-circuito, reduz a indutância da bobina; por isso, quando se usa blindagem, deve-se levar em consideração seu efeito.

A redução da indutância e, também, do Q da bobina, depende das dimensões, tanto da bobina como da blindagem.

Quando a blindagem é uma caneca cilíndrica, pode-se usar a fórmula:

$$(\%) = 1{,}4 \frac{D^2}{D_C^2} \cdot \frac{l}{H} \times 100$$

para determinar, aproximadamente, a porcentagem de redução da indutância. Nesta fórmula, $R_L$ é a redução da indutância em porcentagem, D é o diâmetro da bobina, $D_c$ o diâmetro da caneca, $l$ o comprimento do enrolamento e H a altura da caneca. Na **figura 13**, mostramos esses detalhes em corte.

Como por exemplo de aplicação dessa fórmula, vamos determinar a redução de indutância de uma bobina, que tem diâmetro de 1,2 cm e enrolamento de 2 cm, quando alojada em uma caneca de 3 cm de diâmetro e 6 cm de altura.

**Solução**:

Temos:
$D_c$=3 cm
H=6 cm
D=1,2 cm
$l$ = 2,0 cm

Assim:

$$R_L (\%) = 1{,}4 \times \frac{(1{,}2)^2 \times 2.0}{(3)^2 \times 6} \times 100$$

$$R_L (\%) = 1{,}4 \times \frac{1{,}44 \times 2{,}0}{9 \times 6} \times 100$$
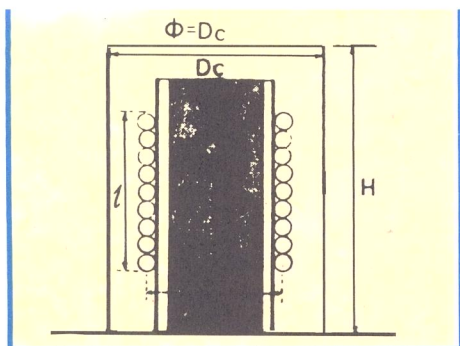
Figura 13 - Bobina interna à blindagem.

$$R_L\,(\%) = 1{,}4\ \frac{2{,}88}{54}\ \times 100$$

$$R_L\,(\%) = 7{,}46\%$$

Isto quer dizer que a indutância da bobina reduz de 7,46%. Conseqüentemente, para que ela tenha o mesmo valor que antes de ser introduzida na blindagem, deverá ser construída com 7,46 % mais de indutância.

O **Q** da bobina também se reduz; todavia, seu cálculo é bastante difícil , pois, além das dimensões da caneca, dependerá, também, do material com que ela é feita.

**Observações**:

1ª) A fórmula da redução da indutância dá apenas valores aproximados, que, no entanto, são tanto mais precisos quanto maiores forem as dimensões da caneca em relação ao indutor.

2ª) No caso de caneca quadrada, pode-se considerar $D_c$ como o diâmetro do círculo inscrito no quadrado, como mostramos na **figura 14**. É óbvio que, neste caso, o valor desse diâmetro é o de um lado do quadrado.

3ª) A fórmula que apresentamos é válida somente para bobina de uma única camada. No caso de enrolamento bilateral, não vale a expressão dada.

4ª) A redução da indutância só começará a ter valores apreciáveis quando, para bobina cuja relação $\frac{l}{D}$ é igual ou menor que 2, o diâmetro da blindagem for menor que o dobro do diâmetro da bobina. Isto significa que, quanto mais próximo estiver a caneca do enrolamento, maior será a redução da indutância.

## IV - Detalhes construtivos

1) As bobinas são enroladas, manualmente, quando o enrolamento tem poucas espiras e é confeccionado com condutor de grande diâmetro (fio 18 AWG ou de menor bitola). Para enrolamento de grande número de espiras e condutor fino, devem ser utilizadas as máquinas
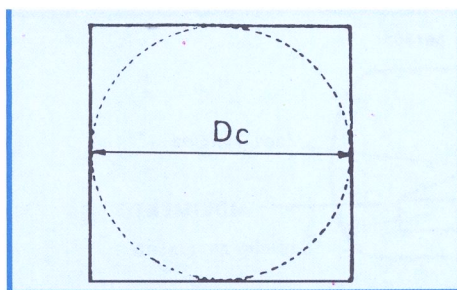
Figura 14 - Exemplo de blindagem quadrada.

bobinadoras.

2) O início e o fim de enrolamento devem ser soldados a terminais de ligação presos à fôrma. Quando o fio é esmaltado ou encapado, deve-se tomar cuidado na decapagem, para evitar que ele se rompa ou que fique mal limpo, o que dificultará o contato elétrico. No caso de enrolamento com fio "litz", o cuidado deve ser redobrado, pois, como esse condutor é formado por vários fiozinhos, bastará que um só deles não faça bom contato, para que se altere a indutância e, também, o Q do enrolamento.

3) O material usado na construção de bobinas deve ser de muito boa qualidade. Assim, deve-se usar fio de cobre de grande pureza, fôrmas de baixa perda, etc. Nos indutores para alta freqüência, sempre que possível, é interessante que seja auto-suportado, para evitar as perdas inerentes à fôrma.

4) Todo enrolamento deve ser protegido contra umidade e atmosfera ácida, que podem destruir o esmalte do condutor e inutilizar a bobina. Essa proteção consiste em dar um banho de cera neutra ou de verniz especial no indutor terminado.

# TECNOLOGIA DOS TRANSISTORES

## I-Noções sobre a construção de transistores

Como já tivemos oportunidade de citar, na fabricação de semicondutores (diodos e transistores) são empregados materiais extraordinariamente puros, aos quais se juntam quantidades, determinadas com bastante precisão, de **impurezas**.

Existem diversas técnicas na fabricação de transistores e as principais serão expostas nesta lição especial.

### Obtenção do cristal puro (monocristal)

Os transistores atuais são fabricados, principalmente, de germânio e silício. Esses dois materiais, quando solidificados, são chamados de **cristal**. Assim, diz-se cristal de germânio e cristal de silício.

Na fabricação de um semicondutor, a primeira fase consiste na obtenção do cristal, o mais puro possível. Para isso, parte-se de um composto que contenha o cristal desejado e purifica-se o mesmo por diferentes processos. Para a obtenção do cristal de germânio, por exemplo, parte-se do mineral conhecido como **germanita**. Inicialmente, purifica-se a germanita através de tratamento químico. O cristal de germânio é, após esse tratamento, fundido a temperatura elevada (cerca de 1000°C - mil graus centígrados) que volatiliza grande parte das impurezas que ainda permaneciam no cristal. Em seguida, esse cristal é esfriado em um recipiente, que lhe dá a forma de **barra**.

Essa barra de cristal não está ainda tão pura quanto o necessário para que possa entrar na fabricação do semicondutor. Essa purificação é conseguida por outros processos, sendo um deles bastante divulgado: o conhecido como **fusão localizada** ou **fusão zonal**.

A fusão localizada consiste em fazer a barra de cristal deslizar em um forno aquecido em uma zona restrita.

Na **figura 15,** mostramos o esquema de purificação pelo processo de fusão localizada. Como se observa, o cristal em forma de barra é colocado dentro de um recipiente (chamado cadinho) de material mau condutor de eletricidade, geralmente grafita. O conjunto é colocado dentro de um tubo de quartzo, onde não existe gás ativo, para garantir que o cristal não seja maculado pelas impurezas do ambiente. Envolvendo o tubo de quartzo, são colocadas bobinas, que estão ligadas a um gerador de radiofreqüência. O funcionamento do conjunto é o seguinte:

A corrente de radiofreqüência, na bobina, cria um campo eletromagnético variável em suas proximidades. Esse campo induz uma corrente no cadinho de grafita, que, por ser mau condutor, se aquece. Note-se que o aquecimento só se dá na zona onde age a corrente de radiofreqüência, ou seja, em uma zona bem determinada. Nessa zona, o cristal se funde. Como o cadinho se movimenta horizontalmente, admitamos que seja da direita para a esquerda, as zonas fundidas também se deslocarão da mesma maneira, permanecendo as impurezas do cristal. Essas impurezas ficarão concentradas na extremidade direita da barra, extremidade essa que será cortada.

Quanto mais se repete o processo descrito, mais pura vai ficando a barra.

Poderíamos comparar esse processo a uma varredura. A zona de fusão seria a vassoura, que vai deslizando sobre o cristal, limpando-o das impurezas.

Uma vez formado o cristal puro, junta-se uma quantidade exatamente determinada da outra substância (impureza), de modo a formar o cristal tipo P ou N.

Para formar um transistor PNP de germânio, por exemplo, parte-se de uma placa de germânio de pouca espessura (décimos de milímetro), à qual se solda
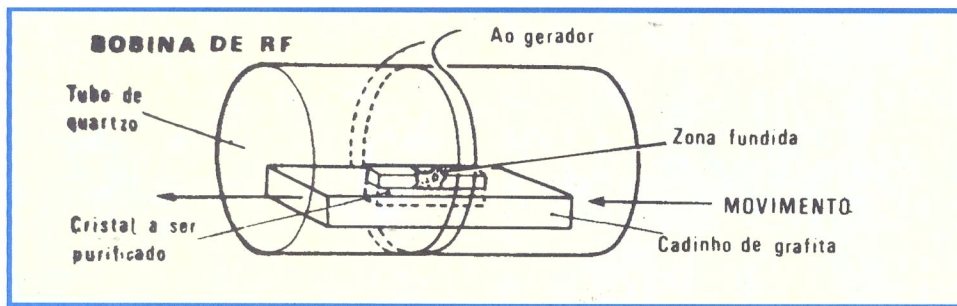
Figura 15 - Purificação do cristal.

um suporte metálico. Depois de purificado o cristal, aplica-se uma pequena quantidade de **índio** nos dois lados da placa de germânio. Em seguida, aquece-se o conjunto, de maneira que só o índio se funda. Em estado líquido, o índio dissolve uma pequena quantidade de germânio e se satura. Nesse processo o coletor e o emissor são eletricamente iguais, entretanto, o coletor é maior, fisicamente, que o emissor.

O transistor NPN se faz da mesma maneira.

As qualidades de um transistor dependem da técnica usada em sua fabricação. Por este motivo, atualmente, utilizam-se técnicas especiais, que recebem nomes característicos, como veremos a seguir:

## 1º - Técnica de liga

A técnica de liga é aquela que expusemos no item anterior. Na **figura 16**, mostramos um esquema do transistor
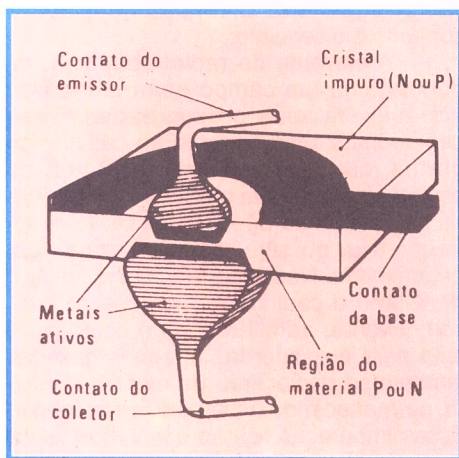
Figura 16 - Técnica de liga.

construído sob essa técnica. O aluno observa que, sobre a fatia de cristal (N ou P), estão colocadas as gotas do metal ativo que formarão as junções. Em cada uma das três regiões é soldado o terminal, que servirá para contato com o circuito externo. O conjunto é encapsulado em metal ou "epoxi".

## 2ª - Técnica de liga-difusão

A técnica de liga-difusão é ligeiramente diferente da técnica de liga.

Para construir transistores do tipo de liga-difusão (ou liga por difusão), parte-se de um cristal do tipo P, por exemplo, que se constituirá no coletor do transistor. Em seguida, sobre o cristal citado, colocam-se duas pastilhas bastante próximas uma da outra. Uma delas contém impurezas do tipo N e será a base do transistor. A outra conterá impurezas tanto do tipo N como do tipo P e será o emissor. O conjunto é submetido a aquecimento até uma temperatura adequada, de modo que as impurezas das pastilhas penetrem na lâmina do coletor. Como as impurezas do tipo P penetram (difundem-se) mais devagar que as do tipo N, entre o coletor, que é do tipo P, e o emissor, que contém impurezas N e P, forma-se uma fina camada do tipo N, que se une com a camada N da base.

Na **figura 17a,** mostramos um corte da lâmina P e das pastilhas N e N + P. Em **17b,** representamos o transistor após o aquecimento.

A vantagem do transistor de
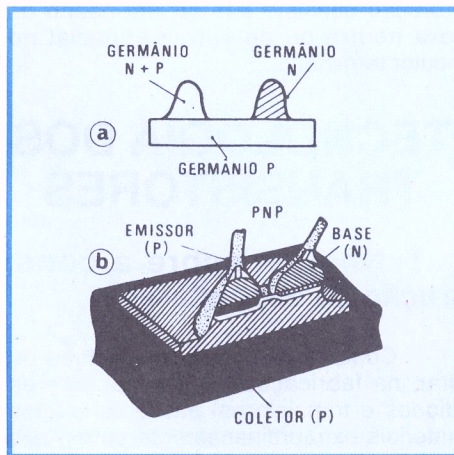
Figura 17 - Técnica de liga-difusão.

difusão por liga sobre o transistor de liga, que descrevemos no item anterior, está em que, com esta técnica (liga-difusão), consegue-se base bastante estreita, o que é fundamental para que o transistor funcione bem, em freqüências elevadas.

## 3ª - Técnica da dupla difusão

Esta técnica é um aperfeiçoamento da anterior e, conseqüentemente, permite a construção de transistores de melhores qualidades.

Para se construir um transistor de dupla difusão, parte-se de uma lâmina de germânio do tipo P ou N. Suponhamos que se parta do germânio P, ou seja, cujas impurezas sejam **aceitadoras**. Então, mergulha-se essa fatia em vapor de substância **doadora**. Essa substância, depositada em ambos os lados da fatia, se constituirá no emissor e no coletor do transistor, que serão do tipo N. Em seguida, em uma parte da união das faces da fatia, faz-se nova difusão, mas, desta vez de substância **aceitadora**, formando-se, nesse local, uma região do tipo P, que será a base do transistor.

Na **figura 18**, mostramos o corte do transistor de dupla difusão.
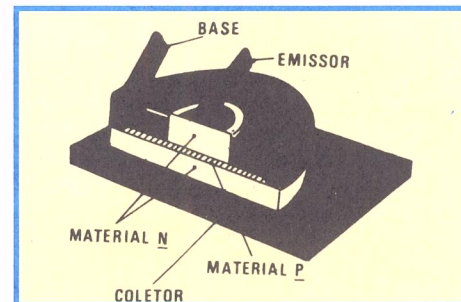
Figura 18 - Técnica de dupla difusão.

## 4ª - Construção-mesa

A construção do tipo mesa utiliza, ainda, o processo de difusão. O nome mesa se origina do fato de existir, no material do coletor, uma saliência em forma de mesa, sobre a qual são colocados os contatos para a base e o emissor.

Para a fabricação de um transistor mesa, parte-se de uma lâmina (ou disco) de germânio do tipo P, por exemplo. Em seguida, um dos lados desse disco é exposto a vapores, contendo impurezas do tipo N. Estas impurezas se difundem (penetram) na superfície, formando uma fina camada de germânio do tipo N. Sobre uma pequena parte dessa camada é agora difundido um material aceitador, que formará o emissor do transistor. A camada N será a base e a lâmina P, de que se partiu, será o coletor. Na figura 19 mostramos o corte de um transistor do tipo mesa.

O transistor do tipo mesa também apresenta bom funcionamento em freqüências elevadas.
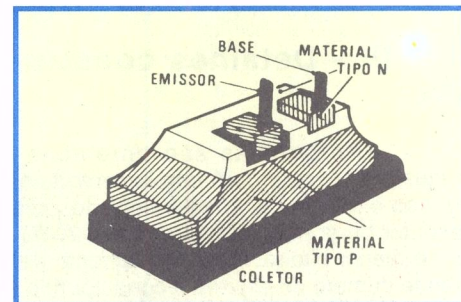
Figura 19 - Construção mesa.